

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JANILCE DOS SANTOS NEGRÃO

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM REJEITOS DE RSU  
PARA PRODUÇÃO DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PARA A CONSTRUÇÃO  
CIVIL

CURITIBA

2022

JANILCE DOS SANTOS NEGRÃO

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM REJEITOS DE RSU  
PARA PRODUÇÃO DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PARA A CONSTRUÇÃO  
CIVIL

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de  
Doutor em Engenharia Civil, no Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade  
Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Adriana de Paula Lacerda Santos

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Henrique Farias de Medeiros

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Negrão, Janilce dos Santos

Desenvolvimento de compósitos cimentícios com rejeitos de RSU para produção de elementos construtivos para a construção civil / Janilce dos Santos Negrão. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Adriana de Paula Lacerda Santos

Coorientador: Marcelo Henrique Farias de Medeiros

1. Construção Civil. 2. Resíduos Sólidos Urbanos. 3. Desenvolvimento Sustentável. 4. Compósitos de cimento. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Santos, Adriana de Paula Lacerda. IV. Medeiros, Marcelo Henrique Farias de. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL -  
40001016049P2

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **JANILCE DOS SANTOS NEGRÃO**, intitulada: **DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM REJEITOS DE RSU PARA PRODUÇÃO DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 05 de Abril de 2022.

Assinatura Eletrônica

25/04/2022 15:46:45.0

ADRIANA DE PAULA LACERDA SANTOS  
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

26/04/2022 15:19:58.0

ADALBERTO MATOSKI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

11/04/2022 09:18:40.0

MARCELL MARIANO CORREA MACENO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

12/04/2022 10:04:46.0

MARCOS AUGUSTO MENDES MARQUES

Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO - UFPR)

Assinatura Eletrônica

08/04/2022 10:52:32.0

CEZAR AUGUSTO ROMANO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO  
PARANÁ)

Centro Politécnico - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 81531-980 - Tel: (41) 3361-3110 - E-mail: [ppgecc@ufpr.br](mailto:ppgecc@ufpr.br)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 172964

**Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://siga.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 172964**

Eu dedico este trabalho  
ao silêncio que grita em cada  
alma que tem sede de aprender.

## AGRADECIMENTOS

O simples registro em uma página de agradecimentos é insuficiente para expressar o sentimento de gratidão a tantos que participaram desse processo de construção do meu grau de doutora. Sim, doutora...ainda parece meio surreal! Foi tanta gente, amigos de todas as horas para conversar e falar sério sobre números, programas e gráficos. Para aconselhar e emprestar o ombro nas horas de aflição, Silvana Stumm e Marina Abdulah. E por que não dizer que tive também a ajuda de anjos? Minha gata, meus cachorros e peixes, todos foram parte importante e participante do processo. Mas não foi só quem estava perto de mim que ajudou. Teve gente que está lá longe, minha mãe e irmãs, gente de outros países na sustentação da saúde mental, esses eu preciso nominar: Arghavan, de Isfahan no Irã, Masahiro, de Kobe no Japão, Mayank, de Delhi na Índia. Teve gente que eu nem conheço que fez a diferença quando me ofereceu material de graça ou por preços simbólicos ou ainda, adiantou o serviço para que eu pudesse cumprir os meus prazos. Teve gente do outro mundo, pai, vô, vó (que saudades de vocês, viu?). No fim, foi uma legião de ajudantes que as páginas dessa tese dobrariam de volume só para poder citar nome por nome. Agradeço às minhas turmas 2021/2 de alunos, pessoas especiais que me deram suporte e compreensão. E teve os que ajudaram atrapalhando, mas, ainda a esses eu preciso agradecer, pois me deram motivo para querer superar as ofensas e ser uma pessoa melhor em pontos que eu pudesse estar falhando.

Por isso eu resolvi encontrar uma maneira de agradecer a todos ao eleger representantes. Nesse caso, eu escolhi os meus três filhos. São três dádivas que, para mim, representam a mais nobre missão que tenho neste mundo. Em nome deles, e pelo amor mais sublime que dedico a essas três pessoas, eu quero demonstrar a minha gratidão a todos os meus professores, servidores da UFPR (tão atenciosos e queridos), meus amigos, meus familiares e a todos os que, de alguma maneira passaram por mim e compartilharam dos meus dias dedicados aos estudos do doutorado.

Existe um sentimento que não sobra nunca. É a gratidão! Seja em forma de agradecimento ou de dedicação a algo, é preciso ser grato para reconhecer no outro aquilo que nos completa.

لازم است سپاسگزار باشيم که در ديگری آنچه ما را کامل می کند تشخيص دهيم  
感謝することは、私たちを完成させてくれた他の人に感謝することです。  
दूसरों में यह पहचानने के लिए आभारी होना जरूरी है कि हमें क्या पूरा करता है।

## A ILUSÃO DO ANONIMATO DE SI MESMO

Uma pessoa dotada de enorme conhecimento acadêmico, sendo reconhecida como grande intelectual e oradora, certa vez em um debate se deparou com alguém aparentemente muito mais humilde, mas para sua surpresa ouviu de tal pessoa, argumentos que não cabia réplica, fato que a fez se deparar com uma personagem que trazia no íntimo e não tinha consciência, pois um profundo sentimento de fúria brotou de suas entranhas ao não conseguir contra-argumentar as alegações de quem lhe oferecia oposição.

Passados os momentos de fúria, a pessoa se permitiu a reflexão e despidida do julgar conseguiu enxergar o quanto era primitiva, sem nunca ter se dado conta, porque de maneira inconsciente trazia consigo a soberba de se achar superior a quem não pertencesse ao seu meio.

O fato é que toda teoria parte da prática de alguém, que um dia ousou tentar seja qual for o motivo, deixando óbvio que, quem se isenta da vaidade já se faz capaz de compreender que conhecimento é fundamental na jornada evolutiva da humanidade. Porém esse mesmo conhecimento só se tornará sabedoria quando fizer de seu portador um ser melhor e mais justo, sabendo respeitar o contraditório tendo o mínimo de lucidez para enxergar, que a veemência com que tratamos os nossos pares tentando impor as nossas verdades, sejam filosóficas, científicas ou religiosas é um sinal que há um conflito no mais íntimo, porque quem goza da paz vinda da consciência de si mesmo, sabe que ninguém é portador da plenitude do conhecimento.

(Autor desconhecido)

## RESUMO

Buscando alcançar os Objetivos de Sustentabilidade das Nações Unidas (ODS/NU) sendo o “OBJETIVO 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis” e do “OBJETIVO 12: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis” (metas específicas 11.6, 12.2, 12.4 e 12.5), e considerando a diversidade de estudos que mostram as vantagens do estudo de materiais alternativos, nesta tese foram desenvolvidos compósitos de matriz cimentícia para a construção civil, com a adição de RSU comumente descartados como rejeitos. A premissa foi a necessidade de adequar procedimentos de construção civil aos ODS/ONU da agenda 2030, pois trata-se de uma pesquisa com vistas à inovação, sustentabilidade e uso racional de recursos naturais. Utilizaram-se materiais coletados em cooperativas de coleta de resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com pouco ou nenhum valor comercial ou ainda, nenhuma possibilidade de reciclagem ou utilização por parte dos coletores. Assim, incluídos como materiais de adição em uma matriz de cimento Portland, investigou-se a hipótese de criar um novo ciclo de aproveitamento de papéis, papelões, plásticos, polímeros e serragem, enfatizando a importância da reutilização e recuperação de materiais a fim de minimizar o descarte de substâncias e reduzir o consumo de recursos naturais. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento dos novos compósitos foi a Nível de Maturidade Tecnológica, do inglês, *Technology Readiness Level* (TRL), usada para classificar o estágio de maturação da evolução da tecnologia, limitando-se à fase de “conceito”, abordando-se do TRL 0 até TRL 3, referente ao estágio inicial com 4 níveis de maturidade tecnológica. A seleção final dos compósitos levou em conta a resistência à tração na flexão, conforme quadro da NBR15498:16 produção de placas de fibrocimento. No entanto, os compósitos propostos também foram avaliados em suas características físicas e mecânicas, NBR13279:05, na determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica, NBR8802:19 e na determinação do índice de consistência (estado fresco), NBR13276:16. A absorção de água por capilaridade, NBR9779:12 e análise MEV foram utilizadas na primeira fase de testes dos compósitos. Nas duas fases finais foi utilizada a NBR 15630:08 para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica e a NBR15261:05, na determinação da variação dimensional. Os materiais selecionados foram as aparas de papel termossensível e EPS triturado, extraídos exclusivamente de rejeitos de RSU e as fibras de lã de PET reciclado. Os dois compósitos quando comparados com compósitos padrão, sem adições que obtiveram os melhores resultados foram no traço 1:3 com [7,5%+0,2%], aparas de papel termossensível e fibra de lã de PET e no traço 1:5 com [1,5% + 0,2%], EPS e fibra de lã de PET com resultados de resistência à tração na flexão de 3,31MPa e 3,17MPa, respectivamente. Constatou-se que esses compósitos podem ser moldados para produção de peças para pisos do tipo bloquetes, placas, blocos vazados e blocos maciços.

**Palavras-chave:** Construção Civil; Resíduos Sólidos Urbanos; Desenvolvimento Sustentável; Compósitos Cimentícios; ODS/ONU

## ABSTRACT

Seeking to achieve the SDGs/NU of "OBJECTIVE 11: Sustainable Cities and Communities" and "OBJECTIVE 12: To ensure sustainable production and consumption patterns" (specific targets 11.6, 12.2, 12.4 and 12.5), and considering the diversity of studies that show the advantages of the study of alternative materials, this thesis was developed cement matrix composites for civil construction, with the addition of USW commonly discarded as tailings. The premise was the need to adapt construction procedures to the UN SDGs of the 2030 agenda, as it is research with a view to innovation, sustainability, and rational use of natural resources. Materials collected in Cooperatives for the collection of USW were used, with little or no commercial value or, no possibility of recycling or use by collectors. Thus, included as addition materials in an inorganic matrix of Portland cement, we investigated the possibility of identifying a new cycle of utilization of papers, cardboards, plastics, polymers, and sawdust, emphasizing the importance of reuse and recovery of materials to minimize the disposal of substances and reduce the consumption of natural resources. The tool used for the development of the new composites was TRL, used to classify the maturation stage of the evolution of technology, limiting itself to the "concept" phase, addressing TRL0 to TRL3, referring to the initial stage with 4 levels of technological maturity. The final selection of composites considered the tensile strength in flexion, according to the nbr15498:16 production of fiber cement plates. However, the proposed composites were also evaluated in their physical and mechanical characteristics, NBR13279:05, in the determination of ultrasonic wave propagation velocity, NBR8802:19 and in the determination of the consistency index (fresh state), NBR13276:16. Water absorption by capillarity, NBR9779:12 and SEM analysis were used in the first phase of composite testing. In the final two phases, NBR 15630:08 was used to determine the dynamic modulus of elasticity by ultrasonic wave propagation and NBR15261:05 in the determination of dimensional variation. The materials selected were the no sensitive paper shavings and crushed EPS, extracted exclusively from RSU tailings and recycled PET wool fibers. The two composites when compared with standard composites, without additions that obtained the best results were in the 1:3 trait with [7.5%+0.2%], shavings of no sensitive paper and PET wool fiber and in the 1:5 trait with [1.5% + 0.2%], EPS and PET wool fiber, with tensile strength results in flexion of 3.31MPa and 3.17MPa, respectively. It was found that these composites can be molded to produce parts for floors of the type blocks, plates, hollow blocks, and solid blocks.

**Keywords:** Construction; Urban Solid Waste; Sustainable Development; Cementitious Composites; SDG/UN

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Níveis de maturidade tecnológica TRL .....	28
FIGURA 2 – O Processo de Inovação do Produto .....	29
FIGURA 3 – Enquadramento do estudo: Abordagem, objetivos e procedimentos.....	50
FIGURA 4 – Disposição inadequada de RSU.....	58
FIGURA 5 – O Processo de Inovação do Produto - Etapas .....	70
FIGURA 6 – O Processo experimental dos novos compósitos .....	71
FIGURA 7 – Processo moldagem e desmoldagem dos meio-blocos.....	72
FIGURA 8 – Fôrmas dos bloquetes (moldes hexagonais) e dos blocos maciços (moldes prismáticos para corpos de prova).....	73
FIGURA 9 – Peças produzidas com os compósitos selecionados.....	73

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Classificação dos RCD .....	34
QUADRO 2 – Demonstração sintética dos EIXOS, ETAPAS e FASES da tese .....	52
QUADRO 3 – Demonstração integrada da TRL 1 .....	59
QUADRO 4 – Demonstração integrada da TRL 2 .....	60
QUADRO 5 – Demonstração integrada da TRL 3 .....	63
QUADRO 6 – Requisitos para as placas de fibrocimento sem amianto .....	66
QUADRO 7 – Moldagens e possibilidades para cada compósito .....	74

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resultados da consulta às normas técnicas.....	47
TABELA 2 – Identificação e traço dos corpos de prova do estudo preliminar .....	61
TABELA 3 – Identificação e traço dos corpos de prova das placas .....	63
TABELA 4 – Resultados médios - papel termossensível - traço 1:3 (28 dias).....	65
TABELA 5 – Resultados médios - papel termossensível - traço base 1:5 (28 dias).....	65
TABELA 6 – Resultados médios - poliestireno expandido - traço 1:3 (28 dias).....	65
TABELA 7 – Resultados médios - poliestireno expandido - traço 1:5 (28 dias).....	65
TABELA 8 – Resultados médios - cel + pet - traço 1:3 (28 dias).....	68
TABELA 9 – Resultados médios - eps + pet - traço 1:5 (28 dias).....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a/c	- Relação água/cimento
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i>
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BPA	- Bisfenol A
BPS	- Bisfenol S
CEL	- Papel termossensível picotado
CESTEH	- Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da Fundação Oswaldo Cruz
CF	- <i>Cellulose Fibers</i> (fibras de celulose)
CO <sub>2</sub>	- Dióxido de carbono
CONAMA	- do Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVID-19	- <i>Corona virus disease 2019</i> (doença do coronavírus)
DATec	- Documento de Avaliação Técnica
DMS	- diferenças Mínimas Significativas
ECC	- <i>Engineered Cementitious Composite</i> (compósito cimentícia engenheirado)
EDCC	- <i>Eco-Friendly Ductile Cementitious Composites</i> (compósitos cimentícios com quantidades reduzidas de cimento e volumes muito altos de cinzas volantes)
EN	- <i>European Standards</i>
EPS	- <i>Expanded Polystyrene</i> (Poliestireno expandido)
EUA	- Estados Unidos da América
FAD	- Ficha de Avaliação de Desempenho de Sistema Convencional
FAO	- <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)
HDPE	- polietileno de alta densidade
ISO	- <i>International Standardization Organization</i>
ITA	- Instituições Técnicas Avaliadoras
JIS	- <i>Japanese Industrial Standarts</i>
MPa	- mega Pascal
NBR	- Norma Brasileira

ODS	- Objetivos de sustentabilidade
ODS/NU	- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
ONU	- Organização das Nações Unidas
PBQP-H	- Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PEAD	- Polietileno
PET	- Polietileno tereftalato / tereftalato de etila
PP	- Polipropileno
PPRC	- <i>Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center</i>
PTS	- papel termossensível
PVA	- <i>Poly(vinil alcohol)</i> (álcool polivinílico)
PVC	- Policloreto de vinila
PVDC	- policloreto de vinilideno
RCD	- resíduos provenientes da construção e demolição
Res.	- resistência
RPET	- garrafas PET recicladas
RSL	- Revisão sistemática da literatura
RSU	- Resíduos Sólidos Urbanos
SiNAT	- Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
SHCC	- <i>Strain-Hardening Cementitious Composite</i> (composto cimentício de endurecimento por tensão)
SMMA	- Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba
Sp	- corpo de prova
TRL	- <i>Technology Readiness Level</i> (Nível de maturidade tecnológica)
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UHPFRCC	- <i>Ultra-high-Performance Fiber-Reinforced Concrete</i> (compósitos cimentícios reforçados com fibras de ultra alto desempenho)
UN	- <i>United Nations</i>
VF	- <i>Vegetable Fibers</i> (fibras vegetais)
VPU	- Velocidade do pulso ultrassônico
WHO	- <i>World Health Organization</i> (Organização Mundial da Saúde)

## LISTA DE SÍMBOLOS

® - Marca registrada

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	18
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA .....	20
1.2	OBJETIVOS .....	21
1.3	JUSTIFICATIVA.....	22
1.4	INEDITISMO DA TESE .....	25
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	26
1.6	ESTRUTURA GERAL DA TESE.....	27
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	28
2.1.	INOVAÇÃO .....	29
2.1.1.	INOVAÇÃO TECNOLÓGICA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
2.1.2.	CONSTRUÇÃO CIVIL COMO ASSIMILADORA DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	32
2.1.3.	COMPÓSITOS COM ADIÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E SINTÉTICAS .....	35
2.1.3.1.	FIBRAS NATURAIS.....	35
2.1.3.2.	FIBRAS SINTÉTICAS .....	41
2.2.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E A SUSTENTABILIDADE .....	45
2.3.	NORMALIZAÇÃO .....	46
3.	MÉTODO DE PESQUISA .....	49
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	49
3.1.1.	UNIDADE DE ANÁLISE .....	51
3.2.	ETAPAS DA PESQUISA.....	51
3.2.1.	ETAPA 1: A Demanda.....	53
3.2.2.	ETAPA 2: O referencial teórico.....	53
3.2.3.	ETAPA 3: A problemática .....	53
3.2.4.	ETAPA 4: A decisão .....	54
3.2.5.	ETAPA 5: A construção do modelo de análise.....	54
3.2.6.	ETAPA 6: A análise das informações.....	55
3.2.7.	ETAPA 7: As conclusões e constatações; o avanço do conhecimento .....	56
3.2.8.	ETAPA 8: A produção do artefato e a comunicação .....	56
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
4.1.	NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DA PROPOSTA .....	57
4.1.1.	A IDEIA – TRL 0.....	57
4.1.2.	A PESQUISA BÁSICA – TRL 1.....	58
4.1.3.	A FORMULAÇÃO DA TECNOLOGIA – TRL 2 .....	60
4.1.4.	A PESQUISA APLICADA – TRL 3 .....	62
4.1.4.1.	Placas de fibrocimento produzidas com os novos compósitos.....	63
4.1.4.2.	Adição de EPS e de aparas de papel termossensível em compósitos cimentícios .....	64

4.1.4.3. Adição de fibra de PET compósitos cimentícios combinados com EPS e papel termossensível.....	67
4.1.5. RESUMO DAS TRL's.....	69
4.1.6. A MOLDAGEM DE ELEMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL .....	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
6. RECOMENDAÇÕES E VISÕES PARA O FUTURO .....	77
REFERÊNCIAS.....	79
<b>APÊNDICE 1 – Estudos produzidos em laboratório para embasar o desenvolvimento dos compósitos.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE 2 – Publicações produzidas em 2018 pelas Revisões de Literatura sobre temas correlatos à pesquisa. ....</b>	<b>203</b>
<b>APÊNDICE 3 – Publicações produzidas em 2019 pelas Revisões de Literatura sobre temas correlatos à pesquisa. ....</b>	<b>257</b>
<b>APÊNDICE 4 – Resumo expandido produzido em 2019 para o 8th International Workshop Advances in Cleaner Production.....</b>	<b>310</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A crise ambiental se intensifica com o crescimento populacional, a alta demanda de recursos e a baixa absorção de rejeitos. Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), são resultantes da atividade doméstica e comercial dos centros urbanos, popularmente chamados de lixo doméstico, conforme a norma brasileira NBR10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004).

Desde 2015, a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 propõe um plano para a paz e a prosperidade que foi adotado pelos países membros das Nações Unidas. São 17 os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS/NU) da Agenda 2030. Cada um deles têm metas definidas e, dois deles são considerados neste estudo. Um deles é o “OBJETIVO 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis” e o outro, o “OBJETIVO 12: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis” (UN, 2022). Dentre as metas dos ODS, as que têm impacto neste estudo são a meta 11.6, 12.2, 12.4 e 12.5. Buscando alcançar essas metas específicas dos ODS/NU citados e considerando a diversidade de estudos que mostram as vantagens do estudo de materiais alternativos, neste trabalho foram desenvolvidos compósitos de matriz cimentícia com a adição de rejeitos de RSU para a construção civil. Para alcançar os objetivos propostos, foram considerados a economia de materiais e recursos, o tipo de resíduo coletado, a disponibilidade do material descartado e a possibilidade de comercialização de materiais recicláveis.

Segundo o relatório técnico organizado pelas Nações Unidas em conjunto com a ABRELPE – Organização das Nações Unidas Brasil/Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2017), estima-se que 500 milhões de pessoas vivem em cidades (80% da população) na América Latina e região do Caribe. A região enfrenta diversos desafios no que diz respeito à mobilidade, segurança, saúde, bem-estar, saneamento e gestão adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) diariamente. Quanto a este último, cerca de 354 mil toneladas são geradas diariamente por habitantes com diversos hábitos de consumo, características culturais e níveis de poder aquisitivo (UN ENVIRONMENT, 2017).

De acordo com a Agência Brasil, Souza (2019) publicou uma reportagem em que afirma que o Brasil, quando comparado aos países da América Latina, ficou em primeiro lugar na geração de lixo e representa 40% do total gerado na região, 541 mil toneladas/dia (UN ENVIRONMENT, 2017).

A geração de RSU no Brasil em 2018 foi de 79 milhões de toneladas, 1,04 kg/habitante/dia (ABRELPE, 2019). Em 2020 dados apurados pela ABRELPE (2021)

mostram aumento na geração de RSU pela influência da pandemia da COVID-19. Em 2020 a geração de RSU, foi de cerca de 82,5 milhões de toneladas, representando 1,07 kg de resíduo por habitante/dia em média. Nota-se um aumento de 2,9% na geração per capita de RSU nesses 3 anos. Mas quando se comparam os valores totais, o aumento chega na faixa de 4,4%. Ações urgentes precisam ser tomadas para conter o avanço da geração e da demanda por espaço de disposição de resíduos e rejeitos.

Logo, ao priorizar a gestão ambiental e o reaproveitamento de resíduos, seria possível usufruir de uma economia cíclica. Uma produção mais limpa pode aproveitar estes recursos, adicionando um ciclo de vida a estes produtos muitas vezes menosprezados (SANTOS et al, 2014). Nesse sentido, a fabricação de peças cimentícias como placas, blocos, pisos e telhas com a inclusão de resíduos sólidos como compósitos de construção civil é uma opção que pode contribuir para o reuso de resíduos sólidos urbanos (RAO et al, 2011; WIEMES et al, 2015).

Verificou-se, então, que entre a gama de compósitos em estudos encontrados na literatura com inclusão de fibras em matrizes cimentícias, se destacam como incrementadoras de propriedades mecânicas e de resistência ao impacto as fibras vegetais e naturais (PACHECO-TORGAL et al, 2010). As chamadas VF ou CF (fibras vegetais ou celulósicas, do inglês: *Vegetable Fibers, Cellulose Fibers*) foram introduzidas no mercado em 1940 como potenciais substitutas para as fibras de amianto, garantindo uma produção ecologicamente correta (ARDANUY et al, 2015). Essas fibras são atraentes também por suas propriedades como: rigidez ou flexibilidade, respostas térmicas e eletrostáticas, biodegradabilidade, viabilidade econômica e baixa densidade (DHAKAL et al, 2007; SGRICCIA et al, 2008; MANTOVANI et al, 2017).

Considera-se também que cada um dos tipos diferentes de VF, como as fibras de sisal, folha de bananeira, eucalipto, cânhamo, industriais (fábricas de papel e celulose), tem diferentes resultados quando avaliadas em testes físicos e mecânicos (SAVASTANO JUNIOR et al, 2000; SHOKRICH et al, 2015) ou quando analisadas quanto a capilaridade do material. Como apontam Moura et al (2015), as fibras naturais apresentam inúmeras propriedades que as transformam em alternativas atrativas aos materiais tradicionais e tornam-se um interessante recurso sustentável como reforço aos compósitos cimentícios (MANTOVANI et al, 2017).

Na categoria das VF ou CF, incluem-se os papéis e papelões, pois conforme o estudo de D'Álmeida et al (2013), é possível afirmar que a principal matéria-prima para a produção de papel é a celulose, presente em grande quantidade na madeira ou em folhosas além de

alguns frutos, como o algodão. Os papéis e papelões foram encontrados em abundância nos RSU, representando, segundo o Ambiente Brasil (2020), o perfil do lixo produzido nas grandes cidades aponta para 39% de papel e papelão.

Por outro lado, alguns dos rejeitos também utilizados em estudos de materiais de construção, para reaproveitamento, são oriundos da própria construção civil (LUCAS e BENATTI, 2008; SANTOS et al, 2014; WOLFF et al 2016; TAM et al, 2018). Dentre eles, os polímeros como PET (Polietileno tereftalato), PVC (Policloreto de vinila), HDPE (polietileno de alta densidade), PEAD (Polietileno) e PP (Polipropileno) (BATAYNEH et al, 2007; MOURA et al, 2015) e o EPS, esse último, ainda com pouca atratividade para a reciclagem (E-CYCLE, 2020), também são comuns nessas pesquisas.

Ao considerar o Brasil como um dos países que mais gera RSU – Resíduos Sólidos Urbanos e que também gera índices de desperdício elevados nos processos de construção civil, este trabalho busca soluções inovadoras para o aproveitamento de RSU por meio de propostas de novos compósitos que sejam elaborados a partir de alguns desses resíduos. Nesse contexto, os materiais escolhidos foram o papel termossensível (PTS), o poliestireno expandido (EPS) e o tereftalato de etila (PET).

## **1.1 PROBLEMA DA PESQUISA**

Pesquisas e experimentos são realizados constantemente para se encontrar materiais alternativos que possam ser utilizados como adições ou agregados nos compósitos da construção civil. De acordo com Araújo et al (2020), é comum utilizar fibras vegetais ou poliméricas, solo, resíduos de construção, mineração e agricultura nos compósitos. O reforço com fibras como alternativa ao uso do asbesto, tem sido proposto desde 1979 em compósitos com fibras de bambu, fibras de coco, sisal, piaçava, juta, bagaço de cana de açúcar, polpa de bambu, polpa de sisal, polpa de eucalipto, misturas com terra bruta, fibra de terra (GHAVAMI, 2009; FARIA et al, 2017; BILCATI et al, 2018; AZEVEDO, 2021; SILVA; CAMPELO, 2021).

As pesquisas na área de materiais de construção civil têm objetivado testar o comportamento dessas matérias primas dentro dos compósitos cimentícios (SILVA et al, 2018). No entanto, o uso de resíduos sólidos na composição de materiais de construção se restringe, geralmente, a subprodutos industriais, tais como areia de fundição, escória de fundição, resíduos da construção civil, lodo da indústria papelreira (SILVA et al, 2018; AZEVEDO, 2021; PAIVA; HOSOKAWA et al, 2021).

Nesse contexto, esta pesquisa buscou ampliar o escopo de aplicações de materiais alternativos em compósitos cimentícios visando a inovação na construção civil.

Este trabalho teve como premissa a necessidade de adequar procedimentos de construção civil aos ODS da ONU da agenda 2030, pois trata-se de uma pesquisa com vistas à inovação, sustentabilidade e uso racional de recursos naturais. Para isso, desenvolveram-se compósitos com a finalidade de serem utilizados na produção de elementos para a construção de edificações, utilizando principalmente, materiais de RSU, comumente descartados como rejeitos.

Assim, neste estudo, exploraram-se o uso e a aplicação de materiais resgatados de RSU para a produção de compósitos cimentícios, além de buscar responder ao seguinte problema de pesquisa: é viável, tecnicamente, utilizar RSU como adição na produção de compósitos para a fabricação de elementos construtivos de edificações?

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica da utilização de rejeitos de RSU na produção de compósitos cimentícios para a moldagem de peças para a construção civil.

Os rejeitos de RSU utilizados na produção de compósitos cimentícios foram as fibras vegetais ou celulósicas de diferentes origens (polpas moldadas, papéis e papelões), e as fibras sintéticas (plásticos e polímeros) em sua composição. Esses rejeitos foram usados como material de adição em compósitos cimentícios, respeitando-se as recomendações das normas brasileiras.

Para se chegar a esse objetivo, estabeleceram-se como objetivos específicos:

- Identificar as propriedades mecânicas, físicas e morfológicas dos compósitos de cimento Portland com adição de materiais alternativos;
- Desenvolver compósitos com possibilidade de serem aproveitados na produção de elementos para a construção civil de acordo com os parâmetros das normas brasileiras;
- Verificar se o compósito pode ser moldado como placas, blocos e de peças para pisos do tipo bloquetes.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram obtidos em cooperativas de coleta de RSU, classificados como rejeitos, com pouco ou nenhum valor comercial ou ainda, nenhuma possibilidade de reciclagem ou utilização por parte dos coletores. Assim, incluídos como materiais de adição em uma matriz inorgânica de cimento, investigou-se a possibilidade de identificar um novo ciclo de aproveitamento desses materiais como adição em compósitos para a construção civil.

Considerando essas premissas, justificou-se este estudo considerando que uma solução proposta por Santos et al (2014) foi a reciclagem, enfatizando a importância da reutilização e recuperação de materiais. Esses autores afirmaram ainda que foram desenvolvidos estudos para reintegrar resíduos de processos produtivos, a fim de minimizar o descarte de substâncias e reduzir o consumo de recursos naturais. E continuam a considerar que esse é o caminho para reduzir o passivo ambiental e para o desenvolvimento sustentável.

Assim, justifica-se a importância dessa pesquisa por ir ao encontro de soluções relacionadas aos aspectos atuais da exaustão dos recursos naturais e da poluição do meio ambiente. Os ODS da ONU refletem essa importância e corroboram os objetivos aqui estabelecidos.

Esta pesquisa buscou ainda, atender aos preceitos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ONU) 2030 da agenda Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), listados a seguir (UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY, 2015):

- META 11: CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS - 11.6 “Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros”. É preciso haver um futuro em que as cidades ofereçam oportunidades para todos, com acesso a serviços básicos, energia, moradia, transporte e muito mais;
- META 12: PRODUÇÃO RESPONSÁVEL E CONSUMO - 12.4 “Até 2030, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente” e 12.5 “Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (ONU, 2015).

Levando em consideração a necessidade de adaptar procedimentos de construção civil à agenda da ONU 2030, esta pesquisa buscou um caminho de viabilidade para desenvolver novos compósitos para a produção de elementos construtivos para edificações.

Além disso, os materiais utilizados neste estudo para os novos compósitos, ao serem resgatados do descarte como rejeitos, seriam direcionados para fora dos aterros sanitários, diminuindo a quantidade de recursos alocados para o seu manejo e disposição.

Dessa forma, a contribuição social e ambiental desta pesquisa se deu pela busca por contribuir com os dois ODS já citados, tornando cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes, sustentáveis e responsáveis. E, além disso, garantir padrões de produção e consumo sustentáveis, com a reutilização de materiais descartados com baixo valor comercial ou de reciclagem, comumente encontrados nas cidades, desde que sejam compatíveis com os materiais de construção tradicionais para a construção de edifícios.

Houve nessa proposta a intenção de buscar soluções para problemas e, ao lado dos papéis e papelões comuns, estão os papéis termossensíveis (PTS), polpa de celulose moldada e plásticos, rejeitos comumente descartados pelas cidades.

Um outro material utilizado foi o EPS, do inglês, *Expanded Polystyrene*, obtido a partir de embalagens em geral, normalmente descartado como rejeito, pois quebrado em pedaços, as cooperativas o dispensam para os aterros sanitários. Segundo a empresa fabricante, poucos sabem que o EPS Isopor® é 100% reciclável, podendo ser transformado em novos produtos. Mas, apesar disso, a falta de iniciativas e de campanhas de conscientização dificultam a reutilização do material reciclado. As opções de aproveitamento para esse material são, após limpo, triturado e cristalizado, a produção de energia elétrica térmica, a fabricação de novos objetos de plástico, ou ainda, a fabricação de colas, solventes, e até sola de calçados. Esta pesquisa propôs uma opção mais simples, pois a moagem ou filetagem dos materiais descartados já os prepara para o uso nos compósitos aqui apresentados.

É importante destacar ainda, que a sociedade sofre com a deficiência de qualidade e de interesse pelos problemas relacionados ao meio ambiente. Embora o número de trabalhos relacionados à busca por novos materiais seja grande, pouco se faz de efetivo para que essas novas propostas sejam factíveis sob o ponto de vista da própria comunidade. Ao se enfatizar o papel do trinômio “engenharia – sociedade – pesquisa” eleva-se o aspecto do valor social deste estudo. Destaca-se sua importância para a melhoria das relações entre a universidade como instituição com as famílias das comunidades carentes que estejam em situação de vulnerabilidade (catadores e coletores de RSU) e da pesquisa que busca novas soluções para problemas antigos.

Assim, com procedimentos simples, os materiais coletados para serem usados como adições à matriz cimentícia inorgânica ficam aptos a serem utilizados. Misturados aos outros materiais (cimento, areia e água) encontrou-se a oportunidade de uma utilização sustentável, alternativa que acarretará ganhos ao meio ambiente e às comunidades de coletores de RSU.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, com o foco no uso de materiais descartados advindos dos RSU, foi assinado um acordo entre a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e uma cooperativa local de separação de RSU. Essa aproximação, envolvendo a pesquisa e a cooperativa, é um dos pilares sociais que mantém a instituição em uma de suas ações primordiais, a extensão de atividades para além dos muros dos *campi* universitários, a serviço da sociedade.

A construção civil passa por um período de adaptação à nova realidade que se instala devido aos processos políticos e econômicos do Brasil, considerando não apenas a necessidade de progresso e expansão da indústria da construção civil brasileira bem como as rápidas mudanças de cenários econômicos e políticos (ESTEVAM; BARBOSA, 2018). Além disso, os avanços tecnológicos contribuem para o aumento da competitividade. “A nossa espécie tende a fazer um trabalho criativo quando necessário. Chegou o momento em que nós precisamos ser mais inovadores do que nunca.” (CONTI, 2021)

A constante mudança da construção civil possibilita o uso de materiais e tecnologias que, a cada dia, vão surgindo com novas propostas para resolver, melhor e mais rapidamente, os problemas que surgem nos canteiros de obras e nos ambientes urbanos. Nessa linha, esta pesquisa atendeu ao preceito da contribuição econômica pela busca por soluções viáveis e simples.

Segundo Fabricio (2002), em comparação com as indústrias de produção seriada, os negócios e os empreendimentos gerados na construção civil seguiram em direção contrária, pois são organizados segundo ciclos de produção relativamente únicos e não repetitivos vinculados a um local (terreno) em que se dá a construção e se produz o edifício.

Seguindo o mesmo raciocínio, é possível afirmar que são necessárias avaliações sistemáticas do desempenho dos elementos construtivos das edificações, revisando e aperfeiçoando continuamente em conjunto com as boas práticas de projetar.

Nesse cenário, em que há redução de matéria prima por escassez, por altos custos de obtenção, um avanço rumo aos processos sustentáveis é a oportunidade para a implantação de melhorias.

O aspecto econômico e inovador pode ser percebido a partir da concepção do novo compósito. Nesse quesito, o fator econômico não se sobrepõe às questões da qualidade e

segurança estabelecidas pelas normas de desempenho e leis vigentes no Brasil e fora dele.

Por fim, considera-se que há uma proposta de inovação tecnológica, na medida em que se inserem novos ciclos para certos tipos de rejeitos. Esses, utilizados como matéria prima ou adição para a produção de novos compósitos, até então, foram completamente ignorados.

Parafraçando Poincaré (1905), a ciência é a percepção de fatos. Ao se considerar que casas são feitas de pedra, não se pode, simplesmente, deduzir que uma pilha de pedras seja uma casa, assim, uma coleção de fatos não será, necessariamente, ciência. Tendo isso em mente, pode-se afirmar que, na busca pelas respostas do problema deste estudo, foi possível encontrar contribuições à ciência e à pesquisa tecnológica.

Novos materiais de adição foram encontrados, como foi o caso da polpa celulósica moldada e o papel termossensível, até aqui, tratado simples e inadequadamente, como “lixo”. Há de se pensar mais a fundo sobre o problema do bisfenol, cujo comportamento como adição, não foi possível ser obtido neste estudo. Porém, pelos indícios de aproveitamento para um material até então sem opções, pode-se considerar este trabalho como uma contribuição técnico-científica.

Segundo Klein (2017), o papel contaminado pode ser reciclado, embora encareça o processo. Ela alerta ainda para o PTS de cor amarelada, pode ser reciclado com restrições, pois como é tratado com o bisfenol, ainda não há consenso sobre a sua correta destinação.

Como exemplo, cita-se o caso da Tetra Pak®, empresa que chegou ao Brasil em 1957, somente 40 anos depois, em 1997 implementou o programa Cultura Ambiental nas Escolas. Em 2010, após passados mais 13 anos, lançaram o sistema de rastreabilidade Ativa da Tetra Pak® e o *site* Rota da Reciclagem (TETRA PAK, 2020). Ao considerar a trajetória de um material, até então, inovador, este trabalho justificou-se sob o ponto de vista econômico, técnico-científico, social e ambiental ao considerar, principalmente, que independentemente de um programa de logística reversa para os papéis termossensíveis, o uso deles com outros materiais de adição em compósitos cimentícios, pode apresentar uma solução viável para o seu descarte.

#### 1.4 INEDITISMO DA TESE

Para esse cenário, a busca por soluções inovadoras veio ao encontro dos objetivos e do ineditismo deste estudo. É interessante traçar um comentário sobre o ineditismo que, isoladamente, nada significa. Bicas (2008) considera que todo trabalho que não seja de republicação, ou cópia de outro, é inédito.

Por outro lado, a originalidade está relacionada com o esclarecimento de dúvidas, apresentação de perspectivas para a solução de problemas, revelando soluções ou traçando correlações importantes. Nessa linha, Bicas (2008) afirma que originalidade é a descrição de novidades para o enriquecimento do conhecimento sobre algum assunto. O autor complementa pontuando a importância de tal condição para o desenvolvimento e expansão dos limites das ciências, enfatizando a necessidade de que seja distinguida como característica de mérito para a publicação.

Esta tese é original por conter elementos que contribuem para melhor compreensão de um processo de produção de compósitos que levaram em si, materiais reutilizados como adição. Ao considerar o caráter de ineditismo e de originalidade, reafirmam-se os 3 aspectos: tecnológico, social e econômico.

Este trabalho considerou tanto o ponto de vista teórico, de conceituação e seus aspectos prático-metodológicos, como o ponto de vista de processos, resultados e benefícios. Ressaltou-se ainda que não só consumidores, mas as organizações e sociedade se beneficiariam devido às vantagens conquistadas quando se investe em inovação. Para a abordagem como inovação tecnológica, foi possível considerar a proposta para o desenvolvimento de um novo compósito com a finalidade de se produzirem produtos para edificações com o uso de materiais ainda inexplorados. Tais elementos construtivos são obtidos a partir da adição de polpa de celulose moldada, papéis termossensíveis, bem como da adição de outros materiais como o EPS e o PET em sua composição.

Os testes de laboratório e ensaios necessários para atestar a viabilidade do novo compósito foram parte do processo de desenvolvimento tecnológico relacionados à proposta de inovação desta tese.

## 1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta tese não teve a intenção de eliminar o problema do resíduo gerado pelas cidades no Brasil. Não se pretendeu estabelecer um novo produto, único, como solução definitiva para o descarte de rejeitos oriundos dos RSU. O trabalho aqui apresentado teve como limitação a proposta e a apresentação de meios relativos ao processo de produção de compósitos com adições de fibras de celulose, EPS e PET.

A abordagem de desenvolvimento de um produto tem fases em que são tratados seus graus de maturidade conhecidas como TRL – acrônimo para *Technology Readiness Level*. Nesta pesquisa, a delimitação é o grau 3, denominado de “pesquisa aplicada”. A degradação

química do bisfenol, presente no papel termossensível, não foi tratada nesta pesquisa. O material aproveitado teve origem, principalmente, nos rejeitos do descarte de resíduos sólidos urbanos com a possibilidade de se produzirem elementos de construção civil, tendo como base, normas técnicas, experimentos e ensaios laboratoriais.

## 1.6 ESTRUTURA GERAL DA TESE

Para facilitar a leitura desse documento, apresenta-se a estrutura geral da tese em sete capítulos. O primeiro deles é esta Introdução, Objetivos, Justificativa, Limitações e Estrutura do trabalho. Em seguida, o capítulo 2 destaca a fundamentação teórica sobre os resíduos sólidos urbanos (RSU), o estado da arte de compósitos do tipo ECC (do inglês: *engineered cementitious composite*) e de materiais alternativos. O capítulo 3 aborda a metodologia e traz informações sobre o método, as fases e etapas da pesquisa. O capítulo 4 apresenta os resultados, a discussão e uma análise sobre os resultados globais da pesquisa, os pontos de vista da autora em relação aos experimentos e quanto aos desafios e às perspectivas para novos estudos.

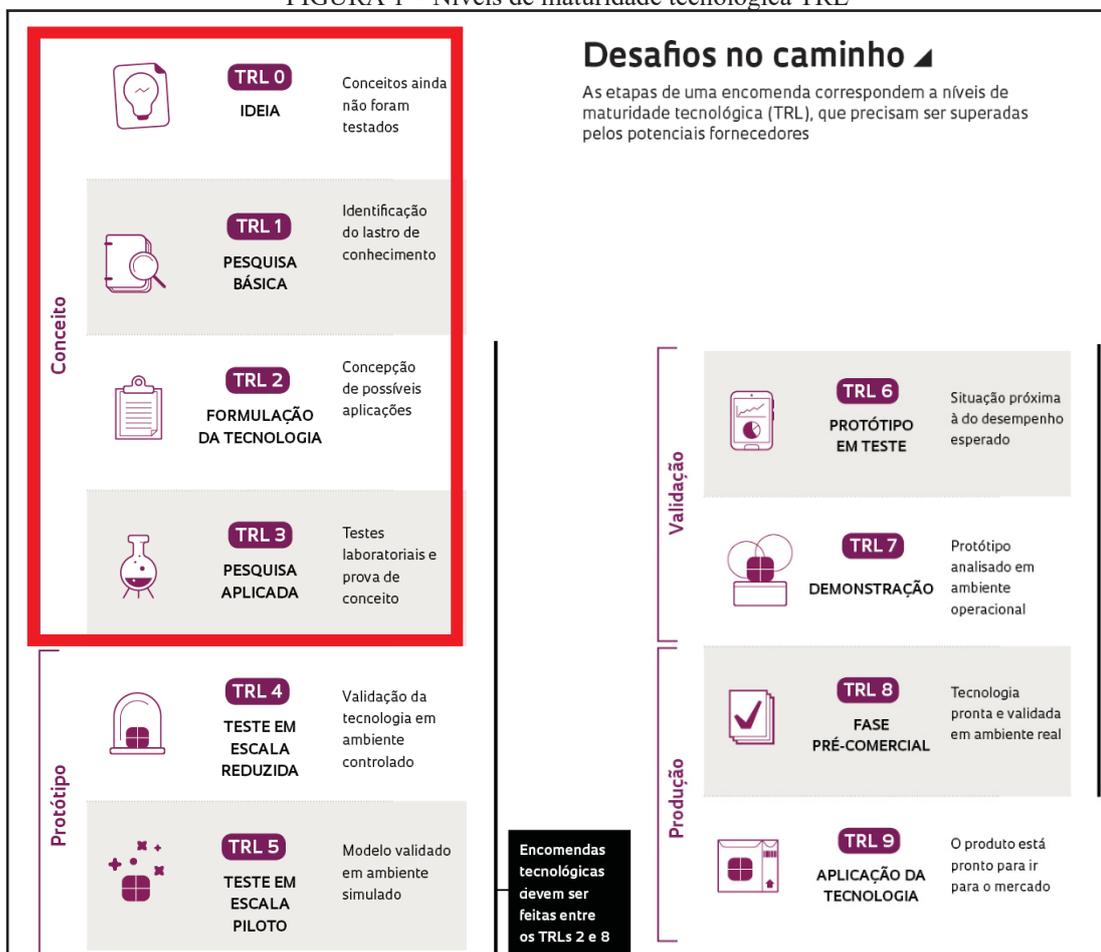
O Apêndice 1 contém a revisão de literatura para os experimentos e os procedimentos realizados nos laboratórios, em detalhes. Com a atenção, para as fibras vegetais ou celulósicas de diferentes origens (polpas moldadas, papéis e papelões), bem como as fibras sintéticas (plásticos e polímeros) em sua composição, apresenta-se a contextualização sobre esse tema. O Apêndice 2 e 3 apresentam os artigos desenvolvidos e já publicados sobre o uso de materiais recicláveis na composição de elementos construtivos para edificações com suas respectivas RSLs. No Apêndice 4 está o resumo expandido produzido em 2019 para o 8th International Workshop Advances in Cleaner Production.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para contextualizar e buscar informações sobre as pesquisas que se relacionam ao tema, foi elaborada a fundamentação teórica. Para a proposta de inovação, considerando a utilização de RSU, o caminho da fundamentação teórica foi o de considerar o desenvolvimento de um novo produto que pudesse atender, tecnicamente ao que se almejava. Foi necessário um tempo de organização mental e de recursos disponíveis para que se chegasse à opção adotada nesta tese. Para isso, a pesquisa se direcionou para a busca de ferramentas que auxiliassem no processo de desenvolvimento de produtos inovadores.

Existe um método para determinar o nível de maturidade tecnológica de um produto inovador, conhecido como TRL – acrônimo para *Technology Readiness Level*. Esse método foi criado pela Nasa, agência espacial estadunidense, na década de 1970 e baseia-se em uma escala que vai de 1 (pesquisa básica) até 9 (produto no mercado). Por esse método de avaliação, quanto mais madura for uma tecnologia, menor o risco contido nela. Pierro (2019) aborda o tema introduzindo o Nível 0, o campo da ideia, conforme se observa na FIGURA 1.

FIGURA 1 – Níveis de maturidade tecnológica TRL



FONTE: Adaptado de Pierro (2019)

O desenvolvimento dos novos produtos aqui propostos se restringiu à fase de “conceito”, abordando o TRL 0 até TRL 3 e se refere ao estágio inicial com 4 níveis de maturidade.

## 2.1. INOVAÇÃO

Uma definição de inovação é a de Robert (1995), que classifica o desenvolvimento de um novo produto como uma forma de inovação. O desenvolvimento de produtos foi definido por Polignano e Drumond (2001), como o processo que transforma informações, oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em capacidade para a fabricação um sistema de ações e objetos de pesquisa e desenvolvimento, marketing e logística.

Segundo Saes, (2012), inovação é “Uma mudança na forma de pensar, agir, trabalhar, percebendo e identificando possíveis oportunidades de negócio ou de melhoria para algo que já esteja em andamento”. De uma maneira simples pode se definir a inovação como fazer algo novo. Com origem no latim *innovatio* o termo se refere à ideia ou algo criado a partir de ideias anteriores, mas de forma diferente.

De forma genérica, Robert (1995) considerou o processo de inovação do produto em quatro etapas diferentes. A **busca**, convertidas em oportunidades para novos produtos, clientes e mercados. A **avaliação**, quando se veem as oportunidades em termos de seu potencial total. O **desenvolvimento**, em que se antecipam os fatores críticos que levarão ao sucesso ou fracasso de cada oportunidade. A **perseguição** para se desenvolver um plano estratégico em direção ao sucesso evitando o fracasso do novo produto conforme está esquematizado na FIGURA 2.

FIGURA 2 – O Processo de Inovação do Produto



FONTE: Adaptado de Robert (1995).

Para Senhoras et al (2007), a gestão da inovação para o desenvolvimento de produtos é um processo gerenciado que combina arte e ciência. Nesse processo criativo, o sucesso dos produtos resultantes do processo científico final tem considerável dependência da relação com os diversos entes envolvidos. A concepção da gestão da inovação no processo de desenvolvimento de novos produtos depende do envolvimento de interfaces preliminares de

prospecção de mercado até chegar ao desenvolvimento de produtos propriamente ditos. A gestão é aparelhada por micro gestão dentro das empresas e por uma macrogestão, em que se leva em consideração os agregados setoriais ou industriais.

No entanto, por mais complexa que possa parecer a ideia de inovação, ela é simples, embora seja preciso entender a sua definição. É um processo de mudança, em que é importante a experiência prática de aplicação das ideias e da tecnologia para fazer do que já existe, algo novo e melhor. É preciso que ocorra uma mudança mental e cultural, ir além das regras e assumir os riscos (ARAGÃO, 2022). E complementa, afirmando que a inovação em processos leva à diminuição de custos, amplia a participação das empresas e abre novas oportunidades, melhorando o processo da gestão.

### **2.1.1. INOVAÇÃO TECNOLÓGICA APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL**

A construção civil, apesar de ter sido afetada pela recessão econômica nos últimos anos, conforme sinalizam os dados do relatório de Crescimento da Economia Brasileira 2018 – 2023, do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2018), destaca-se como um dos setores fundamentais ao impulsionamento dos avanços econômicos e sociais no país. Sua cadeia reúne uma ampla gama de fornecedores, encarregados desde a extração e fabricação dos principais insumos e equipamentos até a comercialização e prestação de serviços do setor.

Na contramão do seu desenvolvimento, devido à natureza de diversas atividades, o setor de construção civil enfrenta desafios quanto à sustentabilidade, principalmente, por ser reconhecido pelo elevado potencial de ocasionar impactos ambientais consideráveis ao longo de sua cadeia produtiva (DUTIL; ROUSSE; QUESADA, 2011). Parte desses impactos são oriundos da fabricação dos principais insumos, do transporte, do processo de construção e demolição de edificações (MONAHAN; POWELL, 2011).

A portaria nº 345, de 3 de agosto de 2007 alterada pela portaria nº 550, de 11 de novembro de 2016 (BRASIL, 2016), instituiu o Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais - SiNAT, no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H, e dá outras providências.

O art 2º da já referida portaria determina que o SiNAT está pautado em princípios e diretrizes e define a avaliação técnica do produto, processo ou sistema tem como base o conceito de desempenho, considerando-se situações específicas de uso tais como desempenho; a concessão de Documento de Avaliação Técnica – DATec e de Ficha de Avaliação de

Desempenho de Sistema Convencional – FAD. Tais documentos têm forma descentralizada, e é baseada em avaliações técnicas realizadas por Instituições Técnicas Avaliadoras - ITA's; determina que o produtor, o fabricante, o proponente ou o detentor do produto, processo ou sistema seja responsável por demonstrar e garantir a qualidade de seu produto, processo ou sistema e ainda, pela orientação quanto ao uso adequado e pela assistência técnica.

É importante enfatizar que a portaria define também que não há garantia do Estado nem das ITA's e nem isenção de responsabilidades dos produtores, dos responsáveis pela comercialização do produto, processo ou sistema e dos usuários. Além disso, não conferem ao detentor do DATec direito exclusivo sobre a produção ou comercialização do produto, processo ou sistema.

Por intermédio da portaria se estabelece a busca pela promoção de transparência nas ações desenvolvidas pelo SiNAT, no sentido de preservar o sigilo das informações e resultados sobre a avaliação de produtos e processos, bem como da representatividade plural dos agentes da cadeia produtiva nas instâncias de decisão do SiNAT, considerando setores públicos e privados.

A portaria também se refere à garantia da imparcialidade e da autoridade nas diversas instâncias do Sistema, informa ainda o caráter provisório com prazo de validade definido dos Documentos de Avaliação Técnica, em razão da característica inovadora dos produtos e processos avaliados, alertando quanto à exigência de revisão do processo de avaliação e até a suspensão de um documento emitido dentro de um prazo de validade que tenha sido inicialmente definido.

Ainda, o seu art. 3º constitui os objetivos gerais do SiNAT que são estimular o processo de inovação tecnológica no Brasil, aumentando as alternativas tecnológicas para a produção de obras de edifícios e de saneamento, promover o equilíbrio competitivo nos setores produtivos correlatos e reduzir os riscos em processos de tomada de decisão envolvendo agentes promotores, incorporadores, construtores, seguradores, financiadores e usuários de produtos e processos de construção inovadores e sistemas convencionais considerando a aptidão técnica de uso, principalmente no que toca à segurança, habitabilidade e sustentabilidade;

O art. 4º define que harmonizar requisitos, critérios e métodos para avaliação técnica de produtos ou processos inovadores e sistemas convencionais no Brasil e também, harmonizar procedimentos para a concessão de documentos de avaliação técnica de produtos ou processos inovadores e fichas de avaliação de desempenho de sistema convencional no Brasil são os objetivos específicos do SiNAT.

### 2.1.2. CONSTRUÇÃO CIVIL COMO ASSIMILADORA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ao considerar o vasto potencial de aplicação dos resíduos gerados pelo próprio setor, como agregados reciclados, constata-se que a indústria da construção civil comporta, também, a reinserção de resíduos de diferentes atividades.

Para contornar a escassez de recursos, algumas iniciativas práticas que utilizaram uma ampla variedade de resíduos sólidos urbanos (RSU) e industriais em concretos e compósitos cimentícios foram observadas na literatura nas últimas décadas. Dessa forma, uma vez que as FC são comprovadamente vantajosas, estudos semelhantes trataram, especificamente, da utilização de resíduos de papéis em compósitos.

Além das aplicações já mencionadas, o uso de fibras naturais (celulose) em compósitos tem atraído a atenção de pesquisadores e empresas, devido ao seu elevado potencial de melhorar a resistência mecânica dos produtos do setor. Em consonância com esta tendência, por proporcionar uma boa aderência entre fibra e matriz, as fibras naturais, quando usadas como reforços, competem com as fibras técnicas (fibras de vidro ou de carbono), além de serem matérias-primas renováveis e disponíveis em larga escala (BLEDZKI; GASSAN, 1999).

Entre algumas aplicações encontradas, destacaram-se borrachas de pneus reciclados (NEHDI; KHAN, 2001), plásticos não biodegradáveis (ISMAIL; AL-HASHMI, 2008), fibras orgânicas (ACDA, 2010), plásticos reforçados com fibras de vidro (ASOKAN; OSMANI; PRICE, 2009) e a utilização de cinzas volantes e residuais resultantes do processo de incineração de RSU (IZQUIERDO; RAMALHO, 2014; OLIVEIRA, 2019).

Diversos estudos analisaram os aspectos físicos da incorporação de fibras celulósicas (CF) em compósitos cimentícios como placas, argamassas e concretos (ANJOS; GHAVAMI; BARBOSA, 2003; PACHECO-TORGAL; JALALI, 2010; ARDANUY et al, 2015; OLONISAKIN; BABATOLA; JULIET, 2017; CHENG et al, 2018; HISSEINE et al, 2019). Em todos, foi possível verificar melhorias significativas nas propriedades mecânicas, ainda que alguns efeitos adversos nos parâmetros de durabilidade tenham sido identificados, como a permeabilidade e porosidade indicados no trabalho de Cheng et al, (2018). No entanto, com a utilização de baixas concentrações de fibras de celulose ou tratamento das fibras, os efeitos indesejados nos compósitos foram minimizados, fazendo com que as CF se apresentassem como um material promissor (HISSEINE et al, 2019) para a substituição total ou parcial de matérias-primas em matrizes cimentícias.

Partindo-se para o uso de materiais sintéticos, Mahdi et al, (2007) produziram um tipo de argamassa polimérica tendo como base o PET, que tinha uma resistência à compressão de cerca de 10 MPa para aplicação em pavimentos, barreiras medianas, canos de esgoto. Depois de mais 3 anos de pesquisa, Mahdi et al, (2010) publicaram outro estudo em que o desempenho dessa argamassa variou de 15 a 28 MPa e um concreto polimérico, com variação de 20 a 42 MPa de resistência à compressão.

Aproximadamente, 60% das emissões de CO<sub>2</sub> ainda são resultantes das atividades inerentes ao setor da construção civil (SOUST-VERDAGUER et al, 2018), sem considerar o alto volume de resíduos gerados nos processos construtivos ou de produção de materiais de construção. Nesse cenário, além da demolição de edificações, o processo de construção torna-se responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos, devido à falta de conscientização durante o trabalho, má qualidade dos materiais, ineficácia no controle dos processos ou não adaptação do projeto. Tais resíduos representam um grande problema quando não gerenciados de forma adequada, podendo gerar complicações de ordem estética, ambiental e de saúde pública (SMMA, 2017).

Dados contidos no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil revelam que as prefeituras brasileiras gerenciaram, em 2018, aproximadamente 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo a indústria da construção civil uma das atividades econômicas que mais contribuíram para o aumento desse número – quase 45 milhões de toneladas de resíduos provenientes da construção e demolição (RCD) (ABRELPE, 2019). Esse valor ainda não reflete com precisão o volume total de resíduos gerados pelo setor, cujo manejo é de responsabilidade dos respectivos geradores.

Para o município de Curitiba, conforme o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos mais recente, realizado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA, 2017), a prefeitura realiza a coleta de até 500 litros de resíduos da construção e demolição (RCD) a cada 2 meses. Quando a quantidade ultrapassa esse valor, o gerador se torna responsável pela contratação de empresas licenciadas ao órgão ambiental para a destinação adequada dos resíduos.

Apesar de existirem regulamentações específicas que orientem pessoas físicas e jurídicas quanto ao descarte de entulhos excedentes em locais autorizados, ainda é comum o descarte ilegal em logradouros públicos no Brasil. Essa prática, assim como o desconhecimento da natureza dos resíduos e a ausência de uma cultura de separação (SMMA, 2017), dificulta o gerenciamento apropriado dos RCD.

Em virtude dessa dificuldade no gerenciamento, a resolução 307 do Conselho Nacional

do Meio Ambiente - CONAMA (2002) organizou os RCD em 4 classes (QUADRO 1), para que a população e as construtoras tenham conhecimento das diretrizes e procedimentos de gestão.

QUADRO 1 – Classificação dos RCD

Classes	Tipos de resíduos
<b>A</b> Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e edificações (solos de terraplenagem, componentes cerâmicos, argamassa e concreto); De processo de fabricação ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas nos canteiros de obras;
<b>B</b> Resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
<b>C</b> Não recicláveis	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
<b>D</b> Perigosos	Tintas, solventes, óleos e aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde como telhas, objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde;

FONTE: adaptada de CONAMA (2002).

De acordo com a classificação (QUADRO 1), pôde-se observar que, apesar da construção civil ter ampla participação na geração de resíduos sólidos, como indicam os resultados do Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, citados previamente, tais resíduos têm grande potencial de reaproveitamento e reciclagem.

O reaproveitamento é caracterizado pelo emprego do resíduo em uso análogo ao seu primeiro ciclo de produção, sem que haja qualquer processamento de beneficiamento dos materiais (AMADEI et al, 2011). Diferentemente do reaproveitamento, o processo de reciclagem consiste na transformação das propriedades físicas do resíduo, com vistas à transformação em novos insumos (ABRELPE, 2019) que são reinseridos no ciclo de produção, em substituição total ou parcial de uma matéria-prima virgem (AMADEI et al, 2011). Essas práticas, aliadas ao armazenamento adequado dos resíduos, ajudam a mitigar os impactos gerados durante a fase de construção e demolição, uma vez que os impactos produzidos por esses resíduos superam àqueles incorporados pelos novos materiais (CONDEIXA; HADDAD; BOER, 2014).

Na região de Curitiba, existem algumas empresas alternativas particulares para a destinação e reciclagem de resíduos Classe A e B, entre elas a HMS Gestão de Resíduos Ltda, a USIPAR, TECTER, SOLIFORTE e a OK Ambiental (SMMA, 2017). As empresas citadas realizam a reciclagem de materiais oriundos dos processos de construção e demolição, como pedras, restos de concretos, argamassas, tijolos, telhas, entre outros. Os materiais, após o processamento, são separados em novos produtos (areia, pedrisco, brita e rachão) que podem

fazer parte da composição de blocos de concreto e servir como matéria-prima para outros produtos da construção civil.

### **2.1.3. COMPÓSITOS COM ADIÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E SINTÉTICAS**

Para atenuar o problema de escassez de habitações, Ghavami et al (1999) afirmaram ser necessário examinar todos os materiais locais e tecnologias construtivas não convencionais, principalmente na cultura ocidental

Segundo Koskela (2000), com a evolução da tecnologia de construção, a construção necessita cada vez mais do envolvimento de especialistas de diferentes áreas, além do uso de materiais tão diversos que transformam seu produto em algo de grande complexidade.

Existem compósitos reforçados com fibras de grafite, de boro ou aramida. As fibras sintéticas, em geral levam a um bom desempenho, mas torna-se inviável, em muitas circunstâncias devido ao custo. Se o critério econômico é um dos requisitos para as habitações de baixo custo e, se não há exigências de alto desempenho mecânico, é possível que outros materiais de menor custo sejam mais adequados. Segundo Sales (2006), nesse caso podem ser considerados os compósitos cimentícios com fibras vegetais.

Os outros materiais, polímeros (plásticos e EPS), também foram encontrados e classificados na cooperativa local como rejeitos que seriam descartados. Além disso, a viabilidade da produção dos elementos oriundos da adição de materiais utilizados como alternativa e aproveitamento de resíduos no mercado necessita de avaliação, de estudos que estabeleçam de forma segura as suas características mecânicas e de durabilidade, no mínimo.

Junto à questão da caracterização de um novo material, somou-se a necessidade de se propor sua utilização adequada considerando essas propriedades, preservando o foco na construção de edificações e, além disso, visando contribuir para a sustentabilidade.

#### **2.1.3.1. FIBRAS NATURAIS**

O uso de fibras vegetais é antigo, seja como reforço em construções, ou como novas possibilidades. Desde a década de 1960 existem estudos que consideram o uso de fibras vegetais como reforço para o concreto e outros compósitos. Pensando na viabilidade de compósitos similares ao fibrocimento, que utiliza amianto, Aziz et al (1984) relataram tais métodos de industrialização em países da América Central, África, Ásia, Austrália e Europa.

Após a discussão sobre perdas no início dos anos 2000, o aproveitamento de resíduos

na construção civil ganhou força em trabalhos como o de Lima Junior (2007), com a avaliação do uso de fibras da semente do açazeiro, uma espécie de palmeira, como reforço de compósitos fibrocimentícios. Nesse trabalho, o autor afirmou ter sido a primeira investigação sobre a possibilidade de utilização de fibras vegetais originadas a partir de um subproduto da extração da polpa de açaí como material alternativo para o setor de construção civil. Esse estudo objetivou a determinação de propriedades da fibra relacionadas com a sua morfologia e suas propriedades físico-químicas. Para tanto foram produzidos corpos de prova com diferentes teores de fibra. Foram realizados ensaios físicos (massa específica, porosidade aparente e absorção de água) e mecânicos (ensaios de compressão axial, de tração na flexão e de tração por compressão diametral) com a finalidade de verificar o desempenho do material final, bem como a proporção mais adequada de fibra na mistura com o cimento Portland, nos traços que foram testados.

Neves (2000) propôs a utilização de materiais reforçados com fibras, citando a industrialização do fibrocimento à base de amianto desde o início do século XX, referenciando a estudos realizados no Brasil para aproveitamento de fibras vegetais a partir da década de 1980. A autora declarou ter avançado no campo da utilização de fibras de celulose, provenientes do papel reciclado, e matrizes de cimento e areia. Chamou esse tipo de argamassa de celulósica e destacou sua utilização para painéis para vedação do edifício. Seu trabalho permitiu observar as propriedades físicas, mecânicas e as relativas à permeabilidade de misturas preparadas com matrizes de proporções 1:1, 1:1,5 e 1:2 e teor de fibras variando de 3 a 18% em relação à massa do cimento. No final, concluiu que houve modificações benéficas referentes à maleabilidade, mas há necessidade de cuidados no quesito proporção água/cimento, porosidade e exigências quanto à segurança estrutural da proposta sem se esquecer da durabilidade.

Na mesma linha, Savastano Jr (2000) desenvolveu a tese de que materiais de baixo custo tais como sisal, fibra de banana e polpa celulósica de eucalipto seriam matéria prima para reforço de matrizes cimentícias alternativas. No caso de sua proposta, essa matéria prima seriam as cinzas produzidas a partir de escória de alto forno moída como aglomerante alternativo, misturada meio a meio com o cimento Portland comum. Em seu trabalho concluiu que havia sinais de melhoria da capacidade de reforço das fibras de sisal, eucalipto e banana. Acrescentou que a partir de um tratamento prévio de tais fibras em solução aquosa, sucção para drenagem e prensagem lhes conferiu resultado superior ao que havia obtido previamente. O autor concluiu com essa pesquisa o indicativo de potencial desse tipo de adição e de melhoria dos processos construtivos.

No quesito durabilidade, Silva (2002) considerou o uso de fibras vegetais e de cimentos alternativos para obtenção de novos fibrocimentos. No desenvolvimento da pesquisa foram realizados ensaios de envelhecimento tendo como resultado a confirmação da eficiência ao se adicionar fibras de celulose ao compósito.

Em uma pesquisa sobre aplicação de conceitos da Ecologia Industrial na produção de um material compósito ecológico baseado no resíduo de indústrias madeireiras Teixeira (2005) concluiu que apesar de haver necessidade de análise de viabilidade técnico-econômica, o uso de serragem reciclada foi uma maneira ecoeficiente para a diminuição de resíduos sólidos industriais. Esse mesmo autor afirmou também um sucesso na obtenção de carga e reforço para resinas plásticas, e seguiu afirmando que também poderia contribuir para a diminuição do montante do resíduo de indústrias madeireiras.

De acordo com sua pesquisa, Sales (2006) considerou que existem critérios de desempenho para a substituição do amianto, por fibras vegetais. Para isso, os pesquisadores buscaram estudar as propriedades das fibras, tais como resistência mecânica, estabilidade química, estabilidade dimensional e morfologia e compará-las com as das fibras que estariam sendo substituídas. Esse tipo de tentativa ainda é limitado, pois cada tipo de material tem suas próprias características e, pode ser necessário fazer uma combinação de mais de um tipo de fibra para conseguir resultados semelhantes.

Lima Junior (2007) concluiu que os compósitos cimentícios reforçados com fibras de açaí não apresentaram perda significativa de resistência à compressão. Observou também que as fibras melhoraram o desempenho quanto à resistência à tração em cerca de 13% para os fibrocimentos. Com o resultado desse reforço na composição, destacou o bom desempenho de adesão com a matriz e consequente comportamento pós-fissura, que é característica de fibrocimentos, bem como o reforço na região adjacente à fratura. E ainda, afirmou que os compósitos reforçados com fibra de açaí *in natura* apresentaram boas propriedades mecânicas. E conclui considerando que as fibras de açaí, estão disponíveis sem custo, que são passíveis de utilização como reforço de matrizes cimentícias, levando a um bom desempenho mecânico e reduzindo o custo do produto acabado, e ressalta que existe o valor do beneficiamento das fibras que pode ser manual e inserido em contexto social.

Savastano Jr. e Santos (2008) estudaram o uso de resíduos de fibras vegetais como matérias-primas para a produção de fibrocimentos não convencionais. Nesse trabalho concluíram que o novo compósito produziu telhas que atenderam a carga mínima de 550 N.

Verificou-se, então, que dentre a variedade de compósitos já estudados para serem adicionados em matrizes cimentícias, se destacaram como incrementadoras de propriedades

mecânicas e de resistência ao impacto, as fibras vegetais e naturais (PACHECO-TORGAL et al, 2010).

Parchen (2012) afirmou que a simplicidade e a facilidade de produção de artefatos de cimento podem ser estendidas para a área de conhecimento industrial madeireiro, para, segundo suas palavras, “proporcionar um novo horizonte de geração de riqueza e renda, agregando valor aos possíveis resíduos gerados durante o processo de transformação da madeira cultivada”. Nesse caso, a proposta de Parchen (2012) perpassa pela obtenção de “madeira engenheirada” e, da mesma forma buscar melhores condições de utilização para o material “madeira” visando a redução de custos.

Em um outro estudo, Teixeira et al (2014) experimentaram o reforço de um compósito cimentício reforçado com fibras de piaçava. Nesse trabalho avaliaram as propriedades mecânicas de material compósito constituído de matriz cimentícia reforçada com fibras de piaçava. As fibras utilizadas pelos autores tinham comprimentos de 15mm e 25mm. Os corpos de provas ensaiados tiveram a proporção de cimento, areia e água igual a 1:2:0,5. Sendo a proporção de fibras naturais correspondentes a 4% (15mm) e 3% (25mm) em relação à composição da mistura.

Nesse experimento, os corpos de prova ficaram imersos em água potável por 28 dias para o processo de cura. Os ensaios realizados por Teixeira et al (2014), foram os de flexão em três pontos, com média de resultados de módulo de ruptura iguais a: 6,84 MPa ( $\pm 1,31$ ) para corpos de prova de matriz pura; 5,05 MPa ( $\pm 0,41$ ) para corpos com fibras de 15mm; e 4,28 ( $\pm 0,22$ ) para corpos de prova com fibras de 25mm e, também foi levado em conta o aspecto da fratura como meio de comparação para os resultados das tensões de flexão. Os pesquisadores chegaram aos resultados de que as amostras reforçadas com fibras de piaçava tiveram um aumento de deflexão em comparação com as de matriz pura, com resultados de 0,40mm para fibras com comprimento de 15mm e 0,46mm para fibras com comprimento de 25mm.

Na comparação com o material sem o reforço de fibras, observou-se que para a carga máxima aplicada, as amostras com fibras de 15mm tiveram um pequeno decréscimo de 0,04kN e que as com fibras de 25mm tiveram um decréscimo, que foi considerado por eles como significativo, de 0,33kN.

No mesmo ano, Silva et al (2014) publicaram um trabalho sobre a Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. Nesse trabalho a proposta foi analisar a influência que a variação do comprimento da fibra de coco exerceria na resistência à compressão de uma argamassa. Buscou-se ainda determinar, experimentalmente,

o comprimento mais próximo ao tamanho crítico. Foram estudadas argamassas com adição de 0,3% em relação do volume total da mistura com 6 comprimentos diferentes de fibras de coco: 12,5; 25,0; 37,5; 50,0; 62,5 e 75,0 mm. Para os testes foi feita uma mistura de argamassa de referência sem adição de fibra de coco. Os ensaios realizados foram os de consistência no estado fresco e resistência à compressão axial no estado endurecido, nas idades 7, 28 e 56 dias, ao longo do primeiro semestre de 2013. Os autores observaram que todos os comprimentos de fibra testados diminuíram a resistência à compressão em relação à argamassa de referência, nas três idades. Apesar dos resultados obtidos, os autores perceberam e afirmaram que a argamassa com adição de fibras de comprimento 25,0 mm foi a que obteve melhor desempenho nas três idades testadas.

Outro trabalho relacionado ao uso de materiais alternativos foi o de Rodrigues (2015), que estudou a influência de diferentes tratamentos (fibra/matriz) nas propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibra de malva. O autor considerou a premissa de que o uso de fibras existe desde a antiguidade. Afirma que se conhece a utilização em larga escala de fibras naturais ou outros materiais orgânicos e inorgânicos como adição para reforço de matrizes frágeis com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas.

Segundo Rodrigues (2015), as fibras vegetais agregam vantagens quando utilizadas em compósitos devido a, entre outros fatores, serem de baixo custo, baixa densidade e abrasividade, serem atóxicas, biodegradáveis e abundantes na natureza. O autor optou por utilizar a fibra de malva, uma fibra vegetal abundante na região amazônica e comercializada no comércio local. No estudo buscou-se o desenvolvimento de compósitos laminares cimentícios com fibras longas e alinhadas de malva, com teor de 6% em volume de fibras, dispersas em 5 camadas longitudinais numa placa laminar.

As propostas foram de dois tipos de tratamento aos compósitos, o primeiro, a impregnação das fibras por meio de imersão em verniz à base de copolímeros acrílicos em emulsão para diminuir a hidrofobicidade e o segundo, o tratamento da matriz por resíduo cerâmico fragmentado em substituição parcial de 50% ao cimento Portland.

Esse procedimento teve por objetivo fazer a diminuição do hidróxido de cálcio para melhorar a resistência mecânica do compósito e proteger o reforço vegetal. Os compósitos propostos foram ensaiados à tração direta e à flexão em 4 pontos, também foram feitas a análise microestrutural óptica e eletrônica de varredura.

As fibras foram caracterizadas por termogravimetria e análise morfológica, por meio de microscopia óptica e de varredura para avaliar o tratamento com verniz. Como resultado desse trabalho pode-se concluir que, pela microscopia eletrônica não houve percepção de

melhoramento na interface fibra e matriz em decorrência do tratamento, mas os ensaios mecânicos indicaram que os compósitos com a substituição parcial de resíduo cerâmico tiveram comportamento igual ou melhor em comparação com os de matriz de cimento Portland.

Esse resultado foi válido tanto para o reforço com as fibras tratadas quanto para as sem tratamento e à conclusão foi a de considerar a importância da utilização da fibra de malva como agente de reforço plausível para compósitos de alta resistência (RODRIGUES, 2015).

Com o objetivo de conseguir maior flexibilidade e elasticidade de uma matriz de cimento Portland de alta resistência inicial, Tessaro et al (2015) propuseram adicionar fibras de eucalipto puras e tratadas com tetraetilortossilicato a 98%. Foi feita a caracterização morfológica das fibras caracterizadas por meio de microscopia óptica e uso de software. Também foi feita a verificação de características quanto à absorção de água visando analisar a eficiência da impregnação do composto químico. Os autores formularam misturas de cimento com adição de fibras de eucalipto puras e tratadas nos teores de 2%, 5% e 10% em massa. Os compósitos foram caracterizados também a absorção de água, a porosidade aparente e módulo de elasticidade. Como medida de comparação, foi preparada uma massa pura de cimento Portland de alta resistência inicial. Os autores puderam concluir que os maiores valores de reforço foram obtidos no compósito aditivado com 2% de fibra de eucalipto tratada com 98% do composto químico proposto.

A existência da possibilidade de inserção de um novo produto no mercado, que viabilize o reaproveitamento dos resíduos provenientes de descarte, como foi possível perceber, ganhou espaço ao longo das décadas, no campo das pesquisas. Na construção civil, principalmente no desenvolvimento de produtos como os elementos de vedação, a utilização de fibras naturais tem sido amplamente explorada. Esses estudos têm gerado trabalhos relevantes para o estabelecimento dessa prática na rotina das empresas.

Resultados de estudos demonstraram a possibilidade de uso dos compósitos — com diferentes teores de fibras de papel em placas cimentícias para revestimento e cobertura (FUWAPE; FABIYI; OSUNTUYI, 2007); em projetos de alvenaria oca de concreto sem carga (BENTCHIKOU et al, 2012) e materiais sem suporte de carga ou reboco (STEVULOVA et al, 2018).

Alguns experimentos presentes na literatura fizeram o uso de diferentes tipos de resíduos de papel, como mistura de fibras recicladas de revista, papel de jornal, papel kraft e outros resíduos (COUTTS, 1989); fibras de papel kraft (NAIK et al, 2003); mistura de papel usado e serragem (FUWAPE; FABIYI; OSUNTUYI, 2007); fibras recicladas de caixas e de

papéis de embalagens (BENTCHIKOU et al, 2012); fibras celulósicas provenientes de resíduos de papel reciclado (HOSPODAROVA et al, 2017; STEVULOVA et al, 2018).

Conforme os trabalhos já citados, as adições de celulose em compósitos de argamassas, considerando não apenas o reaproveitamento dos resíduos descartados, como também a melhoria das suas propriedades e do desempenho das alvenarias e revestimentos tem sido alvo de experimentos desde meados século XX e avançam em quantidade e qualidade de resultados. No entanto, muitos dos materiais estudados são provenientes da separação de materiais que têm possibilidade de reciclagem e a indústria pode estar competindo dentro dela mesma quando tem que escolher para qual destino aquele material seria enviado para o aproveitamento.

Nesta proposta, a busca pelos materiais de adição foi pautada pelo objetivo de encontrar um material que tivesse condição de aproveitamento para a incorporação em compósitos cimentícios como as argamassas, mas que seria alvo de descarte após a triagem nas cooperativas. Nesse caso, um dos materiais escolhidos, o papel termossensível, apesar de ser composto basicamente por fibras de celulose, estaria sendo destinado ao aterro sanitário e, devido às suas características, continuaria sendo classificado como lixo comum, sem nenhum valor comercial, conforme já citado.

Os elementos construtivos aqui apresentados foram considerados pela possibilidade de produzi-los utilizando materiais provenientes do descarte, o que torna esta pesquisa, parte de um processo de inovação e define o seu caráter de ineditismo.

Passando pelos produtos à base de amianto, ainda podem-se considerar os movimentos pela proibição de tal tipo de fibras nos produtos da construção civil. O Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da Fundação Oswaldo Cruz – CESTEH (2019) publicou um manifesto em que explicou os malefícios desse tipo substância à saúde das pessoas.

### **2.1.3.2. FIBRAS SINTÉTICAS**

Na mesma linha de raciocínio das fibras vegetais como incremento de propriedades, o EPS ou, como é mais conhecido no Brasil, Isopor®, marca registrada da empresa Knauf, já foi alvo de estudos em que foi incorporado a compósitos cimentícios (METHA e MONTEIRO, 1994). O material, que foi encontrado no resíduo doméstico descartado na cooperativa parceira, foi considerado como um tipo de matéria prima de adição para os novos compósitos aqui propostos.

O EPS é um polímero que vem da família dos plásticos. Tem uma sigla internacional que vem do termo em inglês “*Expanded Polystyrene*” e em português significa poliestireno expandido. Além da produção do concreto leve, segundo Metha e Monteiro (1994), ainda se tem como vantagem, a produção de peças pré-fabricadas com menores custos de manuseio, transporte e montagem (ARDANUY et al, 2015). Esses materiais são considerados importantes, pois têm propriedades como: rigidez, flexibilidade, respostas térmicas e eletrostáticas, biodegradabilidade, viabilidade econômica e baixa densidade (DHAKAL et al, 2007; SGRICCIA et al, 2008; MANTOVANI et al, 2017).

A aplicação do tereftalato de etila ou PET, sigla pela qual é conhecido o material polimérico, como adição em materiais de construção civil não é recente. Estudos vêm sendo publicados utilizando o material em pesquisas que propõem alternativas para reciclagem e reutilização do PET em novos materiais. Além disso, foram encontrados registros nas bases de dados (*Web of Science, Science direct, Portal da Capes*) sobre estudos sobre a contribuição do PET utilizado como material de construção civil desde 1992.

Na faixa de 1% a 1,5% do volume total de concreto, Ochi et al (2007) já tinham observado que a adição de fibras de polietileno tereftalato (PET) poderia aumentar a resistência do concreto em cerca de 8,5% em comparação com a mistura de controle. Fraternali et al (2011) relataram que o concreto contendo 1% de fibras PET levaria a um aumento na resistência à compressão de aproximadamente 35,14% após 28 dias em comparação com o de uma mistura de controle sem adição de fibras. Além disso, de acordo com os mesmos autores, o reforço de concreto com fibras PET recicladas se qualificaria como uma técnica competitiva para melhorar a resistência térmica, as forças de compressão e tração e a ductilidade do concreto.

Outros estudos levaram à conclusão de que as fibras PET recicladas contribuíram com a melhoria de outras propriedades mecânicas do concreto, como a resistência à flexão e à tração do concreto. Nesse caso, com o aumento do teor de adição de fibras plásticas na faixa de 0,1%-1% do volume total de concreto, Oliveira e Castro-Gomes (2011), Bagherzadeh et al (2011) e Ramadevi e Manju (2012). Pelisser et al (2012), afirmaram que a incorporação de frações 0,05 a 0,5% de fibras sintéticas de baixo módulo de elasticidade no concreto não levou a um aumento da resistência, mas aumentaram a resistência à fratura e resistência ao impacto do material

Nibudey et al (2013) mostraram que o concreto com 1% fibras de PET poderia aumentar em até 17,32% a resistência à flexão e 15,47% à ruptura por tração em comparação com o concreto de controle, sem fibras.

Entre os estudos sobre as adições de fibras poliméricas, Liguori et al (2014)

trabalharam em uma investigação sobre o mecanismo de interação entre agregados plásticos reciclados em matriz de cal em argamassas compostas. No mesmo ano, Vidales et al (2014) estudaram dois diferentes teores de adição, ainda na produção de argamassas poliméricas.

Com uma abordagem diferente para o uso do PET, Detomi et al (2016) publicaram uma nota sobre uma pesquisa em que se substituiu o agregado de quartzo por partículas de PET com diferentes granulometrias, variando a relação a/c, gradativamente. Na análise das propriedades físicas e mecânicas e na comparação dos resultados, os autores levaram em consideração a hidratação do cimento, resistência à compressão, módulo de elasticidade, análise microestrutural e a porosidade dos compósitos. Após esse estudo os autores consideraram a possibilidade de uso não estrutural para as misturas propostas com utilização de partículas de PET em substituição ao agregado de quartzo.

Experimentos sobre o concreto autoadensável mostraram que a adição de fibras de PET recicladas na faixa de 0,25% ~ 2% do volume total de concreto aumentou a resistência do concreto. A resistência máxima obtida do concreto com 1,5% de fibras de PET foi 43,4% maior do que a da mistura de controle sem adição de fibras. Atribuiu-se esse resultado à capacidade das fibras PET de alongarem o caminho da rachadura na ruptura (AL-HADITHI; HILAL, 2016).

Leng, Padhan e Secreeran (2018) propuseram a utilização de resíduos de aditivos PET para melhorar a estabilidade de armazenamento e o desempenho reológico de um tipo de asfalto modificado com borracha fragmentada. Para Shahidan (2018), o teor de fibras de PET recicladas adicionadas às misturas de concreto de 1,0% elevou a resistência à compressão e à tração.

Outra proposta que buscou entender seu desempenho em conjunto com os materiais convencionais tais como asfalto betuminoso foi o de Perera et al, (2019), que buscou avaliar o desempenho de misturas conjuntamente a agregados reciclados de concreto e tijolos triturados, como material de construção para a produção de pavimentos. A mesma equipe de pesquisadores complementou o trabalho no ano seguinte num outro artigo intitulado “Avaliação das propriedades de resistência ao cisalhamento de plástico PET solto em misturas com resíduos de demolição”, traduzido do inglês (PERERA et al, 2020). No experimento de Alani et al (2020), os corpos de prova com fibra de PET adicionadas permaneceram intactos após ocorrer a falha. Esses autores atribuíram o fenômeno à capacidade das fibras de PET de absorver e distribuir a carga que foi aplicada por toda a matriz de concreto reduzindo assim, o desenvolvimento de microfissuras. Além disso, a adição de fibras PET aos compósitos de alto desempenho melhorou significativamente o tipo

de falha dos corpos de prova no esforço de tração.

Para avaliar e investigar a eficácia e a melhoria de desempenho de argamassas de revestimento à base de cimento Portland/cal hidratada, Spósito et al (2020) introduziram resíduos de garrafas PET à mistura para substituir parcialmente 2,5%, 5%, 10%, 15% e 20% (por volume) do agregado fino. Com isso, mostraram outras possibilidades de uso para reduzir impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de garrafas PET.

No desenvolvimento desta pesquisa, notou-se que a maioria dos estudos em que se utilizaram o PET, esse apareceu na forma de grânulos, flocos ou macro fibras, triturado ou filetado, quase sempre em concretos, geopolímeros ou argamassas poliméricas.

Choi et al (2012) compararam o PET com outros tipos de materiais reciclados alternativos na produção de uma argamassa sustentável. Depois disso, Soleimani-Dasthtaki et al (2017) apresentaram o que disseram ser “uma classe recém-desenvolvida” de compósitos cimentícios projetados para utilizarem quantidades reduzidas de cimento e volumes muito altos de cinzas volantes, chamados de EDCCs (do inglês, “Eco-Friendly Ductile Cementitious Composites”). No ano seguinte, Yu et al (2018) propuseram a utilização de fibras de PET para substituir o PVA (álcool polivinílico, polímero sintético hidrossolúvel) em um tipo de composto cimentício de endurecimento por tensão, os SHCC (do inglês: “Strain-Hardening Cementitious Composite”). Esse tema evoluiu e, no mesmo ano, outras publicações sobre a mesma linha de pesquisa foram registradas (LU et al, 2018; LIN et al, 2018).

Outros estudos têm sido realizados para reduzir o custo de produção de compósitos cimentícios reforçados com fibras de ultra alto desempenho (UHPFRCCs – do inglês “Ultra-high-Performance Fiber-Reinforced Concrete”) por meio da substituição de agregados. O alto teor de cimento das UHPFRCCs tem motivado muitos pesquisadores a procurarem por aglutinantes alternativos que mantenham as propriedades do cimento. Buscam-se melhorias das propriedades de resistência mecânica. Para isso, as pesquisas têm sido no sentido de considerar a utilização de reforços a partir de resíduos plásticos como fibras nas misturas de concreto (AL-HADITHI E HILAL, 2016; YU et al, 2018).

No estudo de Luna e Shaikh (2020), os pesquisadores fizeram uma análise da anisotropia do PET reciclado, testando seu comportamento dependendo da direção do esforço aplicado e, também, seu comportamento como fibras de reforço para o concreto.

Recentemente, Ongpeng et al (2020) investigaram a possibilidade de se fazer o fortalecimento de colunas retangulares usando tiras de garrafas PET recicladas (RPET). Nesse estudo, usaram as tiras enroladas externamente em pilares de concreto, buscando simplificar o trabalho em regiões remotas, com poucos recursos.

Shaikh (2020) apresentou em seu estudo, o efeito da fibra reciclada de PET em um compósito de geopolímero (que são materiais que, quando em solução alcalina, endurecem devido à polimerização) e comparou os resultados com os de compósitos de cimento e cinza volante, reforçados com o mesmo tipo de fibra. O resultado dessa pesquisa mostrou que há boa interação das interfaces das fibras de PET com o cimento.

## 2.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E A SUSTENTABILIDADE

Partindo-se do fato de que, tecnicamente, qualquer tipo de papel possa ser reaproveitado, existe um questionamento sobre qual seria a melhor destinação para esses resíduos. Para alguns papéis, a reciclagem é economicamente inviável ou só é vantajosa se forem tratados separadamente. Alguns exemplos de papéis não recicláveis são os papéis vegetais, papéis impregnados com substâncias impermeáveis à umidade, papéis carbono, papéis sujos ou contaminados e papéis revestidos (parafina e silicone) (ECYCLE, 2021).

Ainda que a reciclagem seja a prática ideal de transformação, existe uma importância ambiental e de saúde pública que envolve os papéis termossensíveis, muito utilizados no cotidiano em notas fiscais, como comprovantes bancários, notas de supermercados e de estabelecimentos comerciais gerais. Devido à sua composição química, que contém Bisfenol A (BPA), segundo o “Pollution Prevention Resource Center” (PPRC), o papel térmico ou termossensível, é um dos resíduos problemáticos durante o gerenciamento de substâncias e rejeitos (PPRC, 2010). O papel termossensível, encontrado nas cooperativas de separação de rejeitos é descartado diretamente para os aterros sanitários sem qualquer tratamento prévio. Ele é produzido para atender às impressões de recibos do comércio em geral, recebendo um tratamento à base de bisfenol.

Devido ao tratamento à base de BPA e da inexistência de uma alternativa que não seja o encaminhamento dos resíduos de papel termossensível para o lixo comum, identificou-se uma oportunidade de se modificar o gerenciamento e disposição final desse papel. Uma opção foi controlar os níveis de BPA por meio do uso e reuso do papel, em vez de eliminá-lo no lixo comum, e tratar o resíduo para o controle desses níveis (PPRC, 2010).

Ainda em 2010, a Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization - WHO*), em conjunto com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), após uma reunião com especialistas de vários países, elaborou um relatório com todos os aspectos toxicológicos e de saúde do bisfenol A. O relatório teve o objetivo de analisar, com base nos estudos publicados na época, todas as possíveis fontes de exposição ao

BPA e os efeitos no sistema endócrino, com consequências no desenvolvimento e na reprodução. Ainda que, até a data de realização do relatório, existiam poucos estudos que abordavam os efeitos do BPA, especificamente no papel termossensível, verificou-se que os níveis do composto nos papéis reciclados eram maiores que os níveis nos papéis virgens (FAO/WHO, 2010), devido à contaminação durante o processo de reciclagem.

Pesquisas recentes exploraram ainda mais os efeitos e as concentrações do BPA no papel termossensível, assim como os efeitos de compostos alternativos empregados na substituição do BPA, como o Bisfenol S (BPS). Experimentos indicam que o BPA ainda é o revelador de cores mais comum encontrado no mercado (ECKARDT; SIMAT, 2017) e que não há mudanças significativas nos efeitos à saúde com a substituição do BPA pelo BPS (BJÖRNSDOTTER et al, 2017).

As consequências do BPA têm sido discutidas nos últimos anos, devido ao potencial de ocasionar impactos ao meio ambiente e à saúde humana. O BPA é um composto químico industrial utilizado na produção de plásticos de policarbonato e resinas epóxi, usualmente empregados em materiais que entram em contato com alimentos, como mamadeiras e outros tipos de recipientes (İYİGÜNDOĞDU et al, 2020).

### 2.3. NORMALIZAÇÃO

Todas as normas citadas na TABELA 1 foram utilizadas para a fundamentação dos testes realizados no laboratório. O sistema de normalização internacional, após consultado, abriu a possibilidade de se adotarem as normas brasileiras, pela similaridade e aplicabilidade em construção de edificações para a realidade brasileira. Após a busca, para a organização das normas encontradas ou consultadas, foi produzida a TABELA 1 com as informações básicas de cada uma delas.

Como o material PET tem usos ainda pouco explorados na construção civil, foi feita uma pesquisa sobre a normalização desse tipo de material. Quanto à normalização de uso geral do PET, atualmente no Brasil, a ABNT oferece quatro normas em que o termo “PET” é citado. Porém, sua utilização é restrita a embalagens e a controle térmico e acústico.

A consulta à normalização internacional apresentou documentos tais como a ISO 13636 da *International Standardization Organization* (ISO) (2012), baseada na norma japonesa da *Japanese Industrial Standards* (JIS) (2004), JIS Z 1716, em que, apenas resina PET virgem pode ser usada como matéria-prima. A ISO 12418-1(ISO) (2012), sob o título geral de Plásticos - Reciclagem de garrafas de poli (tereftalato de etileno) (PET) pós-consumo, tem 2 partes - a Parte 1: Sistema de designação e base para especificações e a Parte 2: Preparação de corpos de

prova e determinação de propriedades. Ainda foram encontradas na *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (2017), a ASTM D5047–17 que estabelece os requisitos dimensionais (comprimento e largura, espessura e peso) para filmes e folhas de tereftalato de polietileno orientado biaxialmente, tanto virgens quanto recicladas. Também a ASTM D8195–18 (ASTM) (2018), que fornece um sistema de classificação para tabular as propriedades de filme de tereftalato de polietileno orientado biaxialmente e laminados em espessuras de 1,5  $\mu\text{m}$  a 355  $\mu\text{m}$ . Além dessas, a *European Standards* (EN) (2014) publicou a EN 15348, norma europeia que define um método de especificação das condições de entrega para reciclados de poli (tereftalato de etileno) (PET) com as características mais importantes e métodos de teste associados para avaliar reciclados de PET destinados a serem usados na produção de produtos semiacabados / acabados. É um documento adequado a relações comerciais desses materiais, com objetivo de estabelecerem as especificações do produto.

TABELA 1 – Resultados da consulta às normas técnicas

TÓPICO	REGIÃO	TIPO	NORMA		TÍTULO
			NÚMERO	PUBLICAÇÃO	
CONCRETO E ARGAMASSAS	BRASIL	NBR	5736	2016	Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova
CONCRETO E ARGAMASSAS	BRASIL	NBR	8802	2019	Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica
CONCRETO E ARGAMASSAS	BRASIL	NBR	9979	2012	Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade
RESÍDUOS SÓLIDOS PLÁSTICOS	BRASIL	NBR	10004	2004	Resíduos sólidos - Classificação
	BRASIL	NBR	13230	2008	Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia
CONCRETO E ARGAMASSAS	BRASIL	NBR	13276	2016	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência
CONCRETO E ARGAMASSAS	BRASIL	NBR	15261	2005	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear)
PET	BRASIL	NBR	15395	2006	Garrafa soprada de PET para refrigerantes e águas - Requisitos e métodos de ensaio
PET	BRASIL	NBR	15588	2008	Pré-forma de PET para sopro de embalagem para alimentos e bebidas - Requisitos de ensaio
CONCRETO E ARGAMASSAS	BRASIL	NBR	15630	2008	Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica
PET	BRASIL	NBR	15988	2009	Plásticos - Filme e revestimento de poli(tereftalato de etileno) (PET) biorientado
CONCRETO E ARGAMASSAS PET	BRASIL	NBR	16697	2018	Cimento Portland - Requisitos
	BRASIL	NBR	16832	2020	Sistemas construtivos em chapa de gesso para drywall - Lãs de PET para isolamento térmico e acústico - Requisitos e métodos de ensaio

(continua)

						(conclusão)
PET	EUA	ASTM	D5047	2017	Standard Specification for Polyethylene Terephthalate Film and Sheeting	
PET	EUA	ASTM	D8195	2018	Standard Classification System and Basis for Specification for Polyethylene Terephthalate Film and Sheeting	
PET	JAPÃO	JIS	Z 1716	2004/2015	Non-oriented polyethylene terephthalate (PET) sheets and films for packaging	
PET	INTERNACIONAL	ISO	12418	2012	Plastics — Post-consumer poly(ethylene terephthalate) (PET) bottle recyclates — Part 1: Designation system and basis for specifications	
PET	INTERNACIONAL	ISO	13636	2012	Plastics — Film and sheeting — Non-oriented poly(ethylene terephthalate) (PET) sheets	
PET	EUROPA	EN	15348	2014	Plastics - Recycled plastics - characterization of poly(ethylene terephthalate) (pet) recyclates	

---

FONTE: A autora (2022)

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Ao considerar a importância do método de pesquisa, este capítulo contempla sua organização caracterizando esta tese e suas etapas.

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A motivação para a condução desta tese pode ser considerada pela sua natureza como pesquisa aplicada. Conforme Dresch et al (2015), uma pesquisa prática é a característica de uma pesquisa aplicada, pois seu principal foco é obter resultados que auxiliem profissionais na solução de problemas cotidianos.

Quanto à abordagem, como a finalidade da investigação é causal, a abordagem foi quantitativa; assim como para explicar ou descrever uma situação, a abordagem foi qualitativa. Freitas e Jabour (2011) chamaram de *mixed-methodology*, baseada no uso combinado e sequencial de uma fase de pesquisa quantitativa seguida de uma fase qualitativa, ou vice-versa. Van e Cole (2004) os denominam "metodologia interpretativa sintética", já Stenner e Rogers (2004) chamaram de *qualiquantitivity*. Os autores concordam que os métodos combinam uma estratégia e metodologia de pesquisa de coleta, análise e integração de dados e resultados em termos de um único projeto ou programa de pesquisa multifásica. Nesta caracterização de abordagem é essencial afirmar que essa escolha esteja a serviço da proposta da pesquisa. Dessa forma, houve o propósito conseguir o melhor resultado possível em direção aos saberes desejados (CRESWELL; CLARK, 2011; PARANHOS et al, 2016)

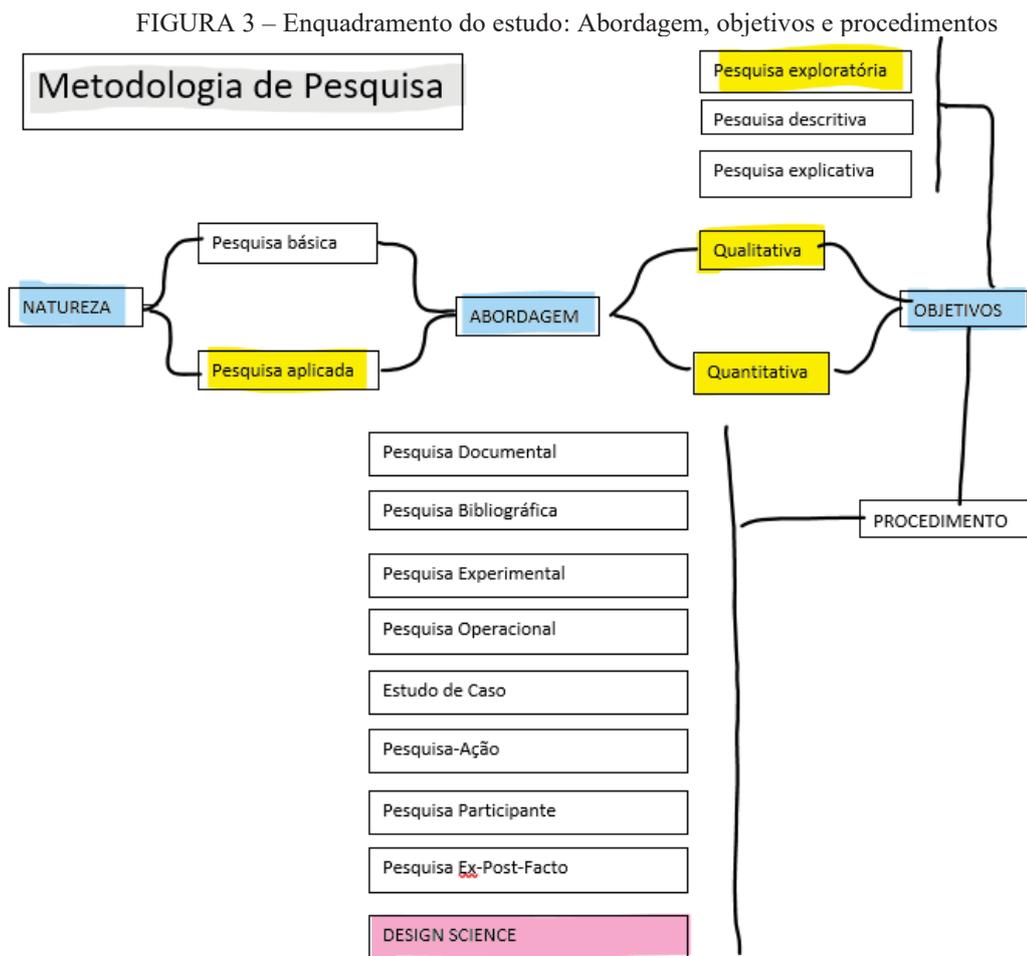
Quanto aos objetivos, esta tese tiveram o caráter de pesquisa exploratória porque buscou entender como um novo material, proveniente de utilização de rejeitos de resíduos secos que poderiam ser transformados em matéria prima para a produção de produtos da construção civil. Houve, como explica Gil (2010), o desejo de proporcionar maior familiaridade com o problema estudado, neste caso, de resíduos coletados e descartados como rejeitos; buscou também entender a existência da hipótese viável de se produzir elementos construtivos provenientes de um novo composto que utilizasse tais rejeitos como material adicional ao que se conhece por convencional dentro da construção civil.

Quanto aos procedimentos de coleta de dados, este trabalho se caracterizou como *design science research*. Este trabalho foi além de explorar, descrever e observar por considerar a ideia de criar artefatos como resultado da exploração das várias soluções para um mesmo problema levando à uma solução satisfatória para a situação. Segundo Dresch et al (2015), o

*design science research* é um método empregado para pesquisas que esperam alcançar um artefato ou uma prescrição, neste caso, produtos para a construção civil a partir de um novo compósito.

A proposta do *design science* tem como meta atingir soluções para problemas específicos, mas não necessariamente uma solução ótima. A construção de um artefato, neste caso teve o propósito de contribuir para o fortalecimento da base de conhecimento existente para a utilização de materiais provenientes de resíduos secos domésticos bem como de explorar a produção de um compósito inovador (DRESCH et al, 2015).

Para caracterização desta pesquisa foi elaborada uma síntese dos seus aspectos e esses se encontram relacionados na FIGURA 3 que ilustra de modo esquemático o enquadramento do estudo, em destaque, com relação à natureza, à abordagem, aos objetivos e aos procedimentos.



FONTE: A autora (2022).

De acordo com a abordagem de Gibbons et al (1994); Dresch et al (2015), o caráter transdisciplinar desta pesquisa se caracterizou pelo método indutivo, pois tem base no processo de inferir uma ideia a partir de dados previamente verificados ou observados (SAUNDERS et al, 2012); (DRESCH et al, 2015). Existem três etapas básicas no trabalho de pesquisa com base no método indutivo, a observação dos fenômenos, a descoberta das relações entre os fenômenos e a generalização das descobertas.

Segundo Chalmers (1999); Dresch et al (2015), para um pesquisador indutivo, a ciência é baseada na observação sendo a observação, o ponto chave para a construção do conhecimento proposto salientando que do ponto de vista do pesquisador a experiência é fundamental para fornecer fundamentos para o conhecimento. No entanto, as observações não devem sofrer desvios pelas opiniões pessoais do pesquisador.

### **3.1.1. UNIDADE DE ANÁLISE**

A definição da unidade de análise desta pesquisa foi considerada de acordo com Yin (2003), como o enfoque incorporado que se aplica quando o estudo de caso envolve mais de uma unidade de análise. Assim, a unidade de análise desta pesquisa é o processo de criação de um produto inovador aqui chamado de compósito, para a moldagem de peças de construção civil utilizando o resíduo seco doméstico como uma matéria prima.

## **3.2. ETAPAS DA PESQUISA**

A escolha da organização deste estudo por etapas foi considerada a partir de estudos baseados em Yin (2003), Gil (2010) e Campenhoudt et al (2017). O primeiro eixo necessário para fazer pesquisa é a ruptura que consiste em romper com as ideias preconcebidas e com as falsas evidências é, portanto, o eixo constitutivo das etapas metodológicas da pesquisa. Em segundo lugar está a construção e essa se refere a um sistema conceitual organizado relacionado com a lógica em que se supõe ser a base do objeto em estudo para se elaborar o plano de pesquisa a ser realizado. São as operações necessárias a serem colocadas em prática e os resultados esperados ao final da pesquisa. Sem esta construção teórica, não há pesquisa válida, pois não se pode submeter à prova qualquer proposta. E em terceiro lugar, a constatação, que estabelece o status científico para ser verificada por informações da realidade concreta, também chamada constatação ou experimentação (CAMPENHOUDT, MARQUET E QUIVY, 2017).

Além disso, Hevner et al (2004); Dresch et al (2015) consideram a definição de sete critérios fundamentais para o desenvolvimento do constructo do *design science research* que serão incorporadas nas etapas desta pesquisa: Demanda, Problema, Avaliação, Avanço do conhecimento, Adequação, Busca por soluções e Comunicação.

Para explicar como se compõem as etapas desta pesquisa, foram feitas subdivisões em passos conforme se demonstra no QUADRO 2 que foi elaborado com base nos conceitos apresentados para exemplificar a lógica da pesquisa e para tanto, foram considerados os eixos principais, as etapas e suas subdivisões ou fases. Ainda com caráter explicativo, foram introduzidas as classificações de maturidade tecnológica a cada fase do trabalho. Esse conceito será discutido com maior profundidade o capítulo 4.

QUADRO 2 – Demonstração sintética dos EIXOS, ETAPAS e FASES da tese

EIXOS	ETAPAS	FASES	RELAÇÃO COM OS NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA (TRL)
A IDEIA	ETAPA 1	A demanda, as perguntas e a inquietação da autora.	TRL 0 – A ideia
	ETAPA 2	O referencial teórico, a exploração do tema e as leituras. RSL <sub>1</sub> , os critérios de seleção e os artigos relevantes. Produção de artigos de RSL <sub>1</sub> para congressos.	
CONSTRUÇÃO	ETAPA 3	A problemática social, econômica e ambiental O compósito e os critérios de seleção de materiais.	TRL 1 – A pesquisa básica
	ETAPA 4	A decisão pela construção do artefato.	
VERIFICAÇÃO	ETAPA 5	A construção do modelo de análise. RSL <sub>2</sub> O protocolo de coleta de dados, produção de artigos da RSL <sub>2</sub> .	TRL 2 – A formulação tecnológica
CONTRIBUIÇÃO PARA A BASE DO CONHECIMENTO	ETAPA 6	Ensaio e experimentos de laboratório. Escolha dos compósitos. Fases de experimentos. Análise das informações. Correções, adaptações e a busca por soluções. Produção de artigos com origem nos resultados da pesquisa.	TRL 3 – A aplicação da pesquisa
		ETAPA 7	
	ETAPA 8	A produção do artefato e a comunicação dos resultados.	

FONTE: A autora (2022).

O experimento seguiu, oito etapas e as principais atividades realizadas ao longo da execução deste projeto são:

### **3.2.1. ETAPA 1: A Demanda**

Nessa etapa foram colocadas as inquietações da autora quanto ao problema da disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos e que, possivelmente, pudessem ser aproveitados como adições em novos produtos. Nesse caso, para compósitos cimentícios para a produção de peças para a construção civil.

Essa etapa teve como característica a reflexão sobre maneiras de se aproveitar materiais descartados e foi a base para o desenvolvimento da Etapa 2.

### **3.2.2. ETAPA 2: O referencial teórico**

O referencial teórico desta pesquisa baseou-se em trabalhos já concluídos que foram encontrados em livros para estabelecer os conceitos da leitura de referência e em artigos científicos publicados em revistas relacionados com a natureza deste trabalho. Conforme descreve Gil (2010), as revistas científicas como uma das mais importantes fontes bibliográficas da atualidade, devido a profundidade de suas informações e qualidade na elaboração. Além disso, buscaram-se outros tipos de referências tais como, teses e dissertações, dentre outros.

A pesquisa bibliográfica baseou-se na revisão sistemática da literatura (RSL), na busca por conhecimentos sobre a descoberta e as propostas de novos materiais de construção civil. Foram considerados temas como a sustentabilidade e o aproveitamento de materiais descartados como rejeitos com potencial para se transformar em matéria prima para a incorporação em compósitos da construção civil e, finalmente na possibilidade de produção de elementos de construção civil. Durante o processo de investigação para a elaboração do referencial teórico, buscou-se retornar à Etapa 1 para retomar e confirmar as premissas desta pesquisa.

### **3.2.3. ETAPA 3: A problemática**

Nesta fase foram discutidas as questões sociais, econômicas e ambientais relacionadas à proposta. Durante essa discussão, foram descartadas as situações relacionadas ao custo propriamente dito e foi considerado como foco, o problema social e proposta de inovação com características de sustentabilidade. Durante essa fase, se levantaram hipóteses a respeito da contribuição desta tese nas questões das habitações de interesse social e no problema do lixo como questão social. Dessa forma, a opção por materiais de pouco ou nenhum interesse para a reciclagem se intensificou e foi essencial para a tomada de decisão. Buscou-se por exemplos de

uso de materiais alternativos em trabalhos de outros autores e ainda nessa fase, se deu início ao planejamento do experimento.

#### **3.2.4. ETAPA 4: A decisão**

Assim, a decisão por desenvolver um novo compósito a partir de resíduos urbanos secos como principal matéria prima ganhou corpo e, também se decidiu que o elemento a ser estudado seria um novo compósito para a posterior moldagem de peças para a construção civil. A opção pelo compósito ocorreu por se considerarem as opções de moldagem de diversas formas, evitando-se a restrição em função de um único elemento. Constatou-se então que seriam necessários ensaios e testes assim como a obediência às normas técnicas vigentes para atender aos quesitos para os elementos de construção civil tais como placas, blocos e bloquetes. Essa etapa finalizou o nível TRL 0.

#### **3.2.5. ETAPA 5: A construção do modelo de análise**

A etapa 5 foi composta de quatro fases e foi a mais longa devido ao seu caráter de retroalimentação. Ela se repetiu por quatro vezes, pois o experimento foi construído de modo progressivo. Na medida em que as adições propostas eram testadas, os compósitos foram selecionados até a escolha dos compósitos finais. Para tanto, as escolhas foram feitas contemplando-se os teores das adições e tomando-se como base os resultados alcançados pelos compósitos. Os resultados dos experimentos foram descritos em detalhes no Apêndice 1.

A fase inicial foi a elaboração do protocolo de coleta de dados que teve como ponto de partida o levantamento de informações sobre procedimentos de laboratório. As informações incluíram o tipo de materiais descartados e as normas a serem consideradas para dimensionar o novo compósito nas suas características físicas, de resistência mecânica, comportamento higroscópico, trabalhabilidade entre outros. Essas informações visavam responder:

- Como testar os compósitos, identificando tipos de ensaios importantes, normas e equipamentos sugeridos ou indicados em trabalhos já publicados ou ainda, se havia a disponibilidade de tais equipamentos e de laboratórios para a realização dos ensaios.
- Quando fazer os ensaios e quais os procedimentos estabelecidos por normas técnicas para sua realização e delineamento do experimento;

Ainda nessa primeira fase, foram realizadas revisões da literatura – RSL, como atividade sequencial ao referencial teórico nos temas: compósitos, processos construtivos,

placas cimentícias, telhas e blocos. Dentre os estudos realizados foram escolhidos e publicados artigos em congresso referentes ao estudo dos materiais alternativos para a montagem de painéis de vedação para a construção civil, processos construtivos para habitação popular, RSL sobre telhas sustentáveis visando o desenvolvimento do produto, blocos com utilização de resíduos para uso em habitação popular e estudo de placas cimentícias para uso em habitações populares. No entanto, na fase de escolha por relevância ao tema desta tese, foram selecionados apenas os artigos que se referiam aos objetivos desta pesquisa. Para isso, nessa fase da RSL, foram estabelecidos os critérios de seleção por aderência ao tema e aos objetivos propostos. Os artigos produzidos e publicados se encontram no Apêndice 2. Nessa etapa foi apresentado um resumo expandido no *8th International Workshop Advances in Cleaner Production*. Esse trabalho pode ser visualizado no Apêndice 3.

Em seguida, na segunda fase, iniciaram-se os experimentos laboratoriais para a escolha dos compósitos. Essa fase teve como premissa os estudos de revisão da literatura realizados concomitantemente com o protocolo de pesquisa para estabelecer a linha de desenvolvimento e a escolha do novo material com base nos estudos anteriores e na sua relevância junto aos objetivos desta pesquisa.

Dessa forma, na terceira fase, procederam-se as séries de ensaios no laboratório de argamassas da Universidade Federal do Paraná - UFPR para estabelecer traços, adições, tratamentos e composições do novo compósito com o intuito de caracterizar suas propriedades e possibilidade de se produzir elementos construtivos com esse novo material. Nessa fase, considerou-se que a realização e a construção do modelo de análise foram importantes para a escolha dos novos compósitos.

Foram produzidos corpos de prova prismáticos dos compósitos. Essa fase tratou também do registro do procedimento de produção dos novos compósitos considerando as etapas e cuidados necessários para garantir a repetibilidade de produção.

A quarta fase dependeu dos resultados dos ensaios dos novos compósitos e essa, levava de volta à primeira até a rodada final, quando os compósitos finais foram selecionados. Essa fase consistiu em considerar as ocorrências da fase anterior e proceder às correções, adaptações e adequações que se fizeram necessárias para melhorar os resultados.

### **3.2.6. ETAPA 6: A análise das informações**

Nessa etapa tratou-se de estabelecer as possibilidades de produção dos elementos de construção civil apropriados às características do novo material proposto.

A busca por soluções que sejam possíveis para a produção de materiais de construção e produtos seguros. Outra característica importante desta etapa foi sua relação de *feedback* para com a etapa anterior, assim, de modo a alimentar com observações posteriores as duas etapas se complementam sistematicamente em direção à convergência do modelo observado para que, só então se possa avançar para a etapa seguinte.

### **3.2.7. ETAPA 7: As conclusões e constatações; o avanço do conhecimento**

Na sétima etapa, diante das considerações das etapas anteriores, os resultados deram condições para explicitar a aprendizagem obtida durante o processo de pesquisa. Ela teve como objetivo assegurar que essa pesquisa pudesse servir de referência e como subsídio para a geração de conhecimento. A conclusão do experimento teve como fim, formalizar os resultados obtidos bem como as decisões tomadas, as limitações encontradas e as propostas para trabalhos futuros. Segundo Dresch et al (2015), as heurísticas bem como o contingente da construção do artefato permitem o avanço do conhecimento.

### **3.2.8. ETAPA 8: A produção do artefato e a comunicação**

A etapa final a comunicação dos resultados por meio da publicação da pesquisa a fim de atingir o maior número possível de interessados na temática, tanto no meio acadêmico como nas organizações. Os compósitos desenvolvidos foram moldados e foi possível realizar considerações sobre a pesquisa realizada. Para que o resultado ficasse claro, nesta tese, foi elaborado um quadro explicativo que teve por finalidade colocar em ordem os tipos de produtos da construção civil que puderam ser fabricados usando o novo compósito.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados os resultados e a discussão a respeito do processo de inovação de produtos, bem como os níveis de maturidade como ferramenta de desenvolvimento desse processo.

### **4.1. NÍVEIS DE MATURIDADE TECNOLÓGICA DA PROPOSTA**

O planeta se desgasta, a natureza sofre com o avanço da poluição e do desperdício de recursos naturais. Já não é mais novidade que as mudanças climáticas são efeito das ações da humanidade. A construção civil tem larga participação nos processos de transformação da paisagem natural com a construção de edifícios, estradas, barragens, portos e outros tipos de obras que levam ao desenvolvimento, porém, às custas da exploração de recursos para a organização urbana e industrial

A tecnologia vem desenvolvendo produtos e buscando soluções para os problemas atuais de conservação ambiental com a introdução de novos materiais, serviços, aplicativos

De acordo com Velho et al (2017), o TRL é uma ferramenta aceita por instituições para classificar o estágio de maturação da evolução da tecnologia no país. Utilizada para comparar tecnologias, pode ser considerada também para apoiar projetos inovadores com o objetivo de diminuir riscos de não se chegar à maturidade de aplicação. Para projetos de vanguarda, tais como os que envolvem a “nanotecnologia, micro e nano eletrônica, fotônica, materiais avançados, biotecnologia industrial e sistemas avançados de manufatura”, os autores citados veem o TRL como forma de apoiar projetos que se destacam, auxiliando as micro, pequenas e médias empresas a vencerem o que chamaram de “Vale da Morte” em sua cadeia de valor.

#### **4.1.1. A IDEIA – TRL 0**

No nível inicial de maturidade, os conceitos ainda não foram testados. A reflexão inicial surgiu de uma inquietação a partir de uma visita à cooperativa de triagem de RSU em Curitiba. Ao serem detectados os processos de separação dos materiais descartados ocorreu a ideia de se verificar a possibilidade de reaproveitá-los como material de adição em compósitos cimentícios para a produção de peças pré-moldadas para a construção civil.

É comum que se encontrem materiais descartados inadequadamente pelas ruas no chão, em lixeiras e caçambas. Muitos deles, com valor de comércio para reaproveitamento são

encaminhados para aterros sanitários. Além disso, mesmo com a coleta seletiva muitos materiais chegam contaminados e, por isso mesmo, com o reuso prejudicado. A FIGURA 4 apresenta imagens cotidianas nas ruas de Curitiba/PR.

FIGURA 4 – Disposição inadequada de RSU



FONTE: A autora, (2022).

Observar o déficit habitacional e as necessidades de preservação ambiental equacionando a redução de desperdício e o aproveitamento de resíduos norteou o início dessa pesquisa. Novos materiais, processos de construção diferenciados foram possibilidades a serem propostas, ainda no campo das ideias.

No entanto, para prosseguir, muitas perguntas ainda precisariam ser formuladas e respondidas. Indagou-se, então, entre tantas possibilidades, qual tipo de matéria prima retirada de RSU seria adequado, quais propriedades deveriam ser consideradas e qual seria a contribuição desse experimento. Já nessa etapa de idealização, ou como vem sendo chamada mais recentemente “ideação”, houve a busca por produção científica que embasasse a criação de uma possibilidade plausível.

Na busca por trabalhos que relacionassem, especificamente, os RSU em compósitos cimentícios (argamassas e concreto), não foram encontrados estudos ou pesquisas que tivessem similaridade com os objetivos da pesquisa aqui apresentados. As bases acessadas foram *Science Direct*, *Web of Science* e Portal da Capes, conforme se pode observar nos Apêndices 1 a 4. Para responder a essa e outras perguntas que surgiram durante o decorrer da pesquisa avançou-se para o próximo nível, a pesquisa básica.

#### 4.1.2. A PESQUISA BÁSICA – TRL 1

Nesse nível, a pesquisa precisa de desenvolvimento e de conceito tecnológico. Apesar de se encontrarem estudos sobre o reaproveitamento de resíduos em novos compósitos, esses em sua maioria foram os oriundos da própria construção civil para a fabricação de peças cimentícias como painéis, blocos, revestimentos e telhas com a inclusão de tais resíduos como

compósitos para a construção civil. (LUCAS et al, 2008 ; RAO et al, 2011, SANTOS et al, 2014 ; WIEMES et al, 2015; WOLFF et al, 2016; TAM et al 2018). Entre os resíduos mais utilizados figuraram ainda, o PET (Polietileno tereftalato), o PVC (Policloreto de vinila), o PEAD (Polietileno) e o PP (Polipropileno) (BATAYNEH et al, 2007; MOURA et al, 2015) e o EPS (poliestireno expandido). O Quadro 3 apresenta a demonstração integrada da TRL 1 com as etapas e fases desta pesquisa.

QUADRO 3 – Demonstração integrada da TRL 1

Nível de Maturidade Tecnológica	Pontos de utilização do produto	Registro do trabalho realizado
TRL 1: Princípios de base observados e relatados	Aplicações potenciais foram identificadas após observações de base, mas o conceito do elemento ainda não estava formulado.	Expressão dos princípios de base previstos para uso. Identificação de potenciais aplicações.

FONTE: NBR 16290 (2015).

Foram produzidos estudos e pesquisas de literatura. Deles resultaram publicações e estudos que se encontram no Apêndice 2 e embasam a afirmativa de que o conhecimento que se agregou com este estudo foi importante para a contribuição científica esperada com esta pesquisa.

Neste estudo, os principais materiais considerados com potencial para serem adicionados aos compósitos foram: papelão ondulado de embalagens, papelão reciclado de caixas de ovos de polpa moldada, papéis termo sensíveis, EPS, serragem de pinus, PVDC (policloreto de vinilideno) e o PET (politereftalato de etileno). Todos esses rejeitos foram encontrados e identificados no descarte do programa “SE-PA-RE” da cidade de Curitiba. Devido ao fato de a pesquisa estar relacionada aos objetivos de sustentabilidade da ONU, esses materiais foram escolhidos em função do descarte feito pela cooperativa para a área de rejeitos para serem direcionados ao aterro sanitário.

Neste estágio se deu o início da atividade criativa. Princípios físicos foram detectados e as aplicações práticas dessas características já podem ser imaginadas ou identificadas. Neste ponto do trabalho, a aplicação ainda estava em fase embrionária, não houve ensaio experimental ou análise detalhada para suportar a conjectura. Nesse nível de maturidade, estudo ainda era analítico, pois é um princípio teórico que se encontrava na fase de esboço. O conceito a ser explorado era o de usar o material descartado e rejeitado de RSU para produzir diferentes elementos de construção civil com os compósitos cimentícios desenvolvidos.

### 4.1.3. A FORMULAÇÃO DA TECNOLOGIA – TRL 2

Após vencida a etapa do TRL 1, pôde-se dar o início da atividade de pesquisa e desenvolvimento no nível TRL 2. Nele se incluíram os estudos investigativos e de laboratório que serviram para validar fisicamente se as previsões teórico-analíticas estavam corretas. Na validação verificou-se se a adição de novos componentes que não são materiais tradicionais, incorporados às misturas trouxeram alterações significativas ao material de referência proposto, como pode ser visualizado, esquematicamente no QUADRO 4.

QUADRO 4 – Demonstração integrada da TRL 2

Nível de Maturidade Tecnológica	Pontos de utilização do produto	Registro do trabalho realizado
TRL 2: Conceito e/ou aplicação da tecnologia formulados	Formulação de potenciais aplicações e conceito preliminar do elemento. Nenhuma prova de conceito ainda.	Formulação de aplicações em potencial Projeto conceitual preliminar do elemento, fornecendo entendimento de como os princípios básicos podem ser usados.

FONTE: NBR 16290 (2015).

Essa etapa do estudo avaliou o comportamento de compósitos com diferentes proporções de adição de materiais descartados como resíduos secos domésticos e foi identificada como FASE I. Para se chegar aos objetivos dessa etapa, foram propostos 3 grupos de experimentos preliminares para a seleção dos materiais principais, moldagens e testes de corpos de prova (Sp).

Os corpos de prova propostos nessa fase foram avaliados considerando-se a NBR13279 (ABNT, 2005), características físicas e mecânicas, NBR8802 (ABNT, 2019), determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, NBR 15630 (ABNT, 2008), para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica, a NBR13276 (ABNT, 2016), na determinação do índice de consistência (estado fresco) e NBR15261 (ABNT, 2005), na determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).

A realização dessa fase da pesquisa, proporcionou condições de auxiliar na identificação dos materiais, misturas e compósitos com os melhores resultados nos ensaios para estabelecer como a próxima etapa, chamada de FASE II, seria desenvolvida.

Para isso, foram identificados os comportamentos dos compósitos considerando os teores das misturas, tipo de rejeito e preparação do material, visando, principalmente, ao atendimento de requisitos da norma brasileira para a produção de placas de fibrocimento.

NBR15498:16 e a introdução de materiais para imprimir sustentabilidade ao novo compósito.

O desenvolvimento dessa etapa permitiu identificar quais os materiais encontrados em cooperativas de coleta e separação de resíduos secos urbanos, sendo que, os que foram selecionados neste estudo, têm potencial e quantidade gerada para reutilização em compósitos para a construção civil. Os resultados dessa investigação se encontram expostos na Tabela 2.

Foi possível observar também, que existem muitos materiais, tais como os papéis e plásticos que se encontram indevidamente descartados. Porém, se forem oferecidas oportunidades de reaproveitamento para esses materiais, pode haver diferentes direcionamentos com relação a procedimentos para melhorar o processo de descarte e separação de resíduos sólidos urbanos. Os valores destacados em cinza são os resultados do estudo preliminar dos ensaios com o material PTS – papel termossensível e EPS – poliestireno expandido.

TABELA 2 – Identificação e traço dos corpos de prova do estudo preliminar

ESPÉCIME	GRUPO	IDENTIFICAÇÃO	MATERIAIS	IDADE/ tração na flexão (MPa)	
				14 dias	28 dias
Sp4	1	PADRÃO	Cimento/areia/água	4,29	7,50
Sp3b	1	PAP40	Polpa cx ovos	5,07	6,02
Sp3a	1	PAP50 a	Polpa cx ovos	1,90	6,48
Sp1	2	PAP50 b	Polpa cx ovos grão pequeno	5,66	5,17
Sp2	2	PAP50 c	Polpa cx ovos - 1dz	5,77	4,62
Sp3	2	PAP50 d	Polpa cx ovos - 2 1/2 dz	5,42	5,81
Sp4	2	PAP60	Polpa cx ovos	2,78	2,87
Sp5	2	PAP70	Polpa cx ovos	4,05	3,88
Sp6	2	PAP80 a	Polpa cx ovos	5,45	6,49
Sp1	3	PAP80 b	Polpa cx ovos	4,40	5,81
Sp2	3	PAP80 c	Papelão	2,09	2,55
Sp3	3	PAP80 d	Papel termossensível	4,53	5,78
Sp9	2	PAP100	Polpa cx ovos	2,66	2,89
Sp5	3	EPS30 a	1:1,193:0,0143:0,5	2,94	3,64
Sp8	2	EPS30 b	1:2 A/C 0,6	2,25	1,67
Sp4	2	EPS30 c	1:3 A/C 0,6	5,78	6,68
Sp2	1	EPS30 d	1:3 A/C 0,6	4,79	1,91
Sp6	3	PLAS	PVDC	2,07	2,37
Sp7	3	PET	Garrafas	2,18	2,53
Sp1	1	PINUS	Serragem	0,32	0,26

FONTE: A autora (2022)

Alguns materiais encontrados, já têm uma cadeia de reutilização que proporciona rendimentos à comunidade de catadores, entre eles, estão os papéis e plásticos do tipo que foram utilizados e descartados do experimento nessa etapa da pesquisa. Sendo assim, foi considerada a interferência nessa cadeia, bem como a geração de quantidade e a utilidade de se retirar o material da sua cadeia, já existente, e a possibilidade de se criar um outro fluxo de utilização.

Diante do estudo aqui desenvolvido, foi possível reconhecer que, apesar do bom resultado da polpa moldada de celulose das caixas de ovos, como material de adição aos compósitos, o ciclo de reutilização/reciclagem desse material já existe, não só pelas condições de aparas, mas como embalagem retornável aos produtores. Segundo Martínez (2014) há dificuldades de produção das embalagens para ovos e frutas, assim, as próprias empresas de produção de ovos e frutas reutilizam as embalagens. Foi possível confirmar tal fato, ao se entrar em contato com produtores de ovos para a obtenção de dados para saber o volume de descarte desse material na própria cooperativa. Além disso, as embalagens são reutilizadas pelos revendedores em troca direta nos comércios locais. Quando elas sofrem algum dano, como amassamentos ou rasgos, elas podem retornar ao processo de produção e então, remoldadas. Por esse motivo, esse material foi dispensado, neste momento, como possível adição para os compósitos propostos neste estudo.

Os materiais do tipo plásticos (PVDC) foram descartados devido ao seu baixo rendimento nos testes. O material PET, foi considerado como coadjuvante para um estudo posterior, ainda nesta pesquisa, mas com outro tipo de tratamento antes da adição à matriz cimentícia.

Assim, foram selecionados para a próxima fase, as fibras de celulose de papel termossensível e o EPS, destacados na Tabela 2. O papel termossensível, pela identificação do tipo de descarte e pela busca de uma solução ambiental para esse problema e o EPS, pela possibilidade de conferir leveza ao produto feito a partir do compósito com esse tipo de adição.

#### **4.1.4. A PESQUISA APLICADA – TRL 3**

Essa etapa da pesquisa foi a mais complexa e longa. Composta da parte experimental, teve como premissa a escolha dos compósitos para a produção de elementos de construção civil. Conforme se pode observar no Quadro 5, foram estabelecidos os requisitos e a análise dos dados obtidos pelo delineamento do experimento.

QUADRO 5 – Demonstração integrada da TRL 3

Nível de Maturidade Tecnológica	Pontos de utilização do produto	Registro do trabalho realizado
TRL 3: Prova de conceito analítica e experimental da função crítica e/ou da característica	O conceito do elemento é elaborado e o desempenho esperado é demonstrado por meio de modelos analíticos suportados por dados experimentais característicos.	Requisitos de desempenho preliminares (podem objetivar diversas missões), incluindo definição de requisitos de desempenho funcionais. Projeto conceitual do elemento. Entrada de dados experimentais, definição e resultados de experimentos laboratoriais. Modelos analíticos do elemento para a prova de conceito.

FONTE: NBR 16290 (2015).

#### 4.1.4.1. Placas de fibrocimento produzidas com os novos compósitos

Com o objetivo de avaliar a possibilidade da utilização dos novos compósitos para a produção de placas de fibrocimento, respeitando-se os preceitos das normas brasileiras. Os compósitos foram moldados em formato de placas com adaptações, mas buscando atender à NBR15498:2016.

Os compósitos escolhidos para os testes de moldagem de placas, dentre os corpos de prova da FASE I foram os que continham PVDC, EPS e papel termossensível em sua composição. Como ainda não se tinham os resultados dos testes realizados com as composições propostas, havia o interesse em 3 dos materiais com possibilidade de bom resultado nos testes com corpos de prova prismáticos, devido à sua ocorrência abundante como descarte. Assim, ao invés de serem extraídos corpos de prova de placas prontas, compradas no comércio, foram produzidos corpos de prova moldados em forma de placas para testes.

Os resultados dos ensaios com a placas estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Identificação e traço dos corpos de prova das placas

Espécime	Traço/composição	Resistência à tração na flexão (MPa)
Sp3	1:0,08:0,5 Cimento: papel termossensível: água	3,75
Sp4	1:3:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	1,87
Sp6	1:5:0,013:0,5 Cimento: areia: PVDC: água	3,01

FONTE: A autora (2022).

Os ensaios desta fase foram feitos em caráter preliminar, para analisar possibilidades

e adaptar os procedimentos para a fase final da pesquisa. Por isso, foi considerada uma única bateria de moldagens, com 4 corpos de prova para cada um dos compósitos, para ruptura na idade de 28 dias. Diante dos resultados obtidos nessa fase intermediária, foi possível concluir que para o ensaio de placas seria necessário fazer moldagens de corpos de prova mais adequados ao que a norma determina.

Os valores encontrados levaram a crer que existe potencial de utilização dos compósitos propostos para a produção de placas de fibrocimento, no entanto, ainda em um estágio inicial de testes, há de se considerar os testes das fases subsequentes para a finalização e escolha dos materiais para a última fase desta pesquisa.

#### **4.1.4.2. Adição de EPS e de aparas de papel termossensível em compósitos cimentícios**

Os corpos de prova propostos nessa fase foram avaliados considerando-se a NBR13279 (ABNT, 2005), características físicas e mecânicas, NBR8802 (ABNT, 2019), determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, NBR 15630 (ABNT, 2008), para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica, a NBR13276 (ABNT, 2016), na determinação do índice de consistência (estado fresco) e NBR15261 (ABNT, 2005), na determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Nessa fase os dois materiais de adição escolhidos foram resultado das análises dos ensaios da FASE I, as fibras de celulose do papel termossensível picotado (CEL) e o EPS triturado.

O experimento foi delineado considerando dois tipos de materiais de rejeitos, o papel termossensível picotado (CEL) e o EPS triturado com 2 níveis de traço padrão dado em massa (1:3 e 1:5 para cimento e areia, com  $a/c=0,7$ ) e 4 níveis de traço, em massa, com adições. Considerou-se suficiente 3 réplicas para cada amostra de compósito e 3 idades de testes (7, 14 e 28 dias).

Para a definição dos teores de adição, teve-se como base, o resultado da FASE I. Nessa nova fase foram testados diferentes teores de adição para os dois materiais escolhidos. Os traços desta fase tiveram como base os estudos anteriores, já mencionados.

Essa organização considerou a separação dos resultados por compósitos em 2 experimentos individuais para que se pudessem ser avaliados os resultados individuais de cada compósito proposto. Foram moldados 144 corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm e, para os testes de retração foram moldadas mais 48 barras de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm.

Os compósitos com adição de PTS foram identificados por “CEL” nos teores de 0% (compósito de referência, sem adições), 5%, 7,5% e 10% de PTS triturado e relativo à massa de cimento. Os resultados dos ensaios dos compósitos bem como suas características de mistura podem ser observados na TABELA 4 e TABELA 5. Os melhores resultados estão destacados em cinza.

TABELA 4 – Resultados médios - papel termossensível - traço 1:3 (28 dias)

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM		Res. à tração na flexão	Res. à compressão
		cm	g/cm <sup>3</sup>	μs	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)
Sp1	0%	31	1,916	46,2	3463	4,42	19,05
Sp2	5%	17	1,614	58,7	2726	3,93	12,73
Sp3	7,5%	27	1,582	55,7	2873	3,42	11,83
Sp4	10%	31	1,538	75,4	2122	2,97	7,22

FONTE: A autora (2022).

TABELA 5 – Resultados médios - papel termossensível - traço base 1:5 (28 dias)

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM		Res. à tração na flexão	Res. à compressão
		cm	g/cm <sup>3</sup>	μs	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)
Sp1	0%	16	2,055	46,2	3206	5,37	21,56
Sp2	5%	29	1,964	58,7	2914	2,15	9,28
Sp3	7,50%	22	1,823	55,7	2556	1,48	11,86
Sp4	10%	28	1,519	75,4	1618	1,67	5,16

FONTE: A autora (2022).

Os compósitos com adição de EPS tiveram teores de 0% (compósito de referência, sem adições), 1%, 1,5% e 2%. Esses resultados estão organizados nas Tabelas 6 e 7.

TABELA 6 – Resultados médios - poliestireno expandido - traço 1:3 (28 dias)

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM		Res. à tração na flexão	Res. à compressão
		cm	g/cm <sup>3</sup>	μs	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)
Sp1	0%	16	1,916	46,2	3463	4,42	19,05
Sp2	1%	25	1,767	58,7	2726	2,78	11,68
Sp3	1,5%	25	1,698	55,7	2873	2,69	8,61
Sp4	2%	26	1,613	75,4	2122	2,40	6,90

FONTE: A autora (2022)

TABELA 7 – Resultados médios - poliestireno expandido - traço 1:5 (28 dias)

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM		Res. à tração na flexão	Res. à compressão
		cm	g/cm <sup>3</sup>	μs	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)
Sp1	0%	31	2,055	49,9	3206	5,37	21,55
Sp2	1%	25	1,818	50,6	3162	4,12	15,80
Sp3	1,5%	23	1,690	54,2	2952	3,83	14,08
Sp4	2%	20	1,607	58,9	2716	3,14	9,82

FONTE: A autora (2022)

Com os resultados desse estudo, foi possível perceber que a consistência dos compósitos ficou menos fluida com a adição de materiais de RSU, porém apesar da consistência mais seca, ainda foi possível moldar placas.

Os resultados médios do traço base 1:3 com adições de aparas de papel termossensível foram superiores aos do traço base 1:5. Dentre eles, se destacaram os compósitos com os fatores de adição de 5% e 7,5%, como os mais adequados.

Apesar de terem tido resultado dentro da faixa de tolerância da norma técnica, o compósito com 10% de adição teve valores menores que os demais nos outros testes, sendo por isso, descartado. Para o mesmo material, os corpos de prova do traço base 1:5, apesar do menor consumo de cimento os resultados não atingiram o valor mínimo de resistência à tração na flexão determinado pela norma técnica e, por isso, foram desconsiderados como opção para as placas de fibrocimento.

Os compósitos com adição de EPS triturado no traço de base 1:3 obtiveram resultados que atenderam à norma técnica. No traço de base de 1:5, o compósito com 2% de adição apesar de atingir o resultado mínimo definido pela norma, o aspecto seco não permitiu moldagem e, por isso foi descartado. No entanto, ao se considerar as premissas de uso sustentável e economia de recursos naturais já abordadas, optou-se por descartar toda a série do traço de base 1:3 para esse material. Além de tudo, essa série teve os menores resultados nos testes, não atingindo os valores mínimos estabelecidos com regra para esse experimento.

Para o experimento seguinte, os valores foram ponderados em função de valores médios, considerando a norma escolhida e os resultados que incorporaram maior quantidade de adição e ainda assim permaneceram dentro dos valores mínimos estabelecidos pela NBR15498 (ABNT, 2016). A resistência à tração na flexão da placa na direção de menor resistência não pode ser inferior a 70% do valor especificado no Quadro 6.

requisitos de resistência à tração		
Categoria	Placas classe A (MPa) adequado para aplicações externas sujeitos à ação direta de sol, chuva, calor e umidade	Placas classe B (MPa) adequado para aplicações internas e aplicações externas não sujeitas à ação direta de sol, chuva, calor e umidade
1	-	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

FONTE: Adaptado de NBR15498 (ABNT, 2016).

Finalmente, considerando-se os resultados obtidos e a análise feita, foram selecionados os compósitos de traço base de 1:3 com 5% e 7,5% de adição de aparas de papel termossensível com resultados de 3,93MPa e 3,42MPa, respectivamente. no traço base de 1:5 e os com teores com adição de 1,0% e 1,5% de EPS com resultados de 2,78MPa e 2,69 MPa, respectivamente.

#### 4.1.4.3. Adição de fibra de PET compósitos cimentícios combinados com EPS e papel termossensível

Considerando-se a oportunidade para analisar o comportamento do PET como adição aos compósitos, ainda na fase de escolha dos materiais, não se encontraram referências semelhantes ao experimento que aqui se apresenta. Verificou-se que, seja como fibra ou filamentos adicionados a compósitos cimentícios, os estudos técnico-científicos conduzidos a respeito do material, não seguiram por essa abordagem.

Conforme já apresentado, a norma técnica brasileira estabelece os limites de redução de até 30% do valor base de referência para a resistência à tração na flexão para adições. Os compósitos selecionados da fase anterior tiveram seus valores dentro dessa faixa de tolerância. Considerando o intervalo permitido pela redução, esta fase teve como objetivo a possibilidade de um incremento de resistência à tração na flexão dos compósitos propostos. No entanto, para a escolha dos teores de fibra de PET (tereftalato de etila) foi preciso uma rodada extra de experimentos para ajustar as quantidades de fibras à mistura.

Após os ajustes, experimento foi delineado considerando dois compósitos de cada material, aparas de papel termossensível (CEL) e o EPS triturado com um traço padrão específico para cada material (1:3 e 1:5 para cimento e areia, com A/C= 0,7), 2 níveis adições para cada material: CEL (5,0%, 7,5%) e EPS (1,0%, 1,5%). Ainda, para a fase atual, 3 níveis de adição de lã de PET (0,1%, 0,15% e 0,2%), com 3 réplicas para cada amostra de compósito

(A, B, C) e 3 idades de testes (7, 14 e 28 dias). Nessa fase, foram moldados 108 corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm e 36 barras para os testes de retração, de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm. De acordo com a NBR15261:05, foram moldadas 3 réplicas para cada grupo de corpos de prova moldados para os ensaios mecânicos, dessa forma, foram obtidas 36 barras. Os resultados com os destaques para os compósitos escolhidos em cinza podem ser visualizados nas Tabelas 8 e 9.

TABELA 8 – Resultados médios - cel + pet - traço 1:3 (28 dias)

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO				
TEOR DE ADIÇÃO BASE	TEOR DE ADIÇÃO PET	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM	Res. à tração na flexão	Res. à compressão
		cm	g/cm <sup>3</sup>	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)
5,0%	0,1%	24	1,557	3604	4,39	17,40
5,0%	0,15%	25	1,495	3433	4,04	14,53
5,0%	0,2%	25	1,429	3548	4,33	17,19
7,5%	0,1%	24	1,340	3162	2,65	8,78
7,5%	0,15%	25	1,297	3376	3,38	11,12
7,5%	0,2%	29	1,275	3306	3,31	11,79

FONTE: A autora (2022).

TABELA 9 – Resultados médios - eps + pet - traço 1:5 (28 dias)

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO				
TEOR DE ADIÇÃO BASE	TEOR DE ADIÇÃO PET	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM	Res. à tração na flexão	Res. à compressão
		cm	g/cm <sup>3</sup>	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)
1,0%	0,1%	24	1,4953	3,582	3,08	10,61
1,0%	0,15%	25	1,5568	3,150	3,15	10,76
1,0%	0,2%	24	1,4287	3,429	3,00	9,46
1,5%	0,1%	24	1,3397	3,288	3,03	10,09
1,5%	0,15%	25	1,2755	3,446	3,18	10,62
1,5%	0,2%	29	1,2974	3,381	3,17	9,71

FONTE: A autora (2022).

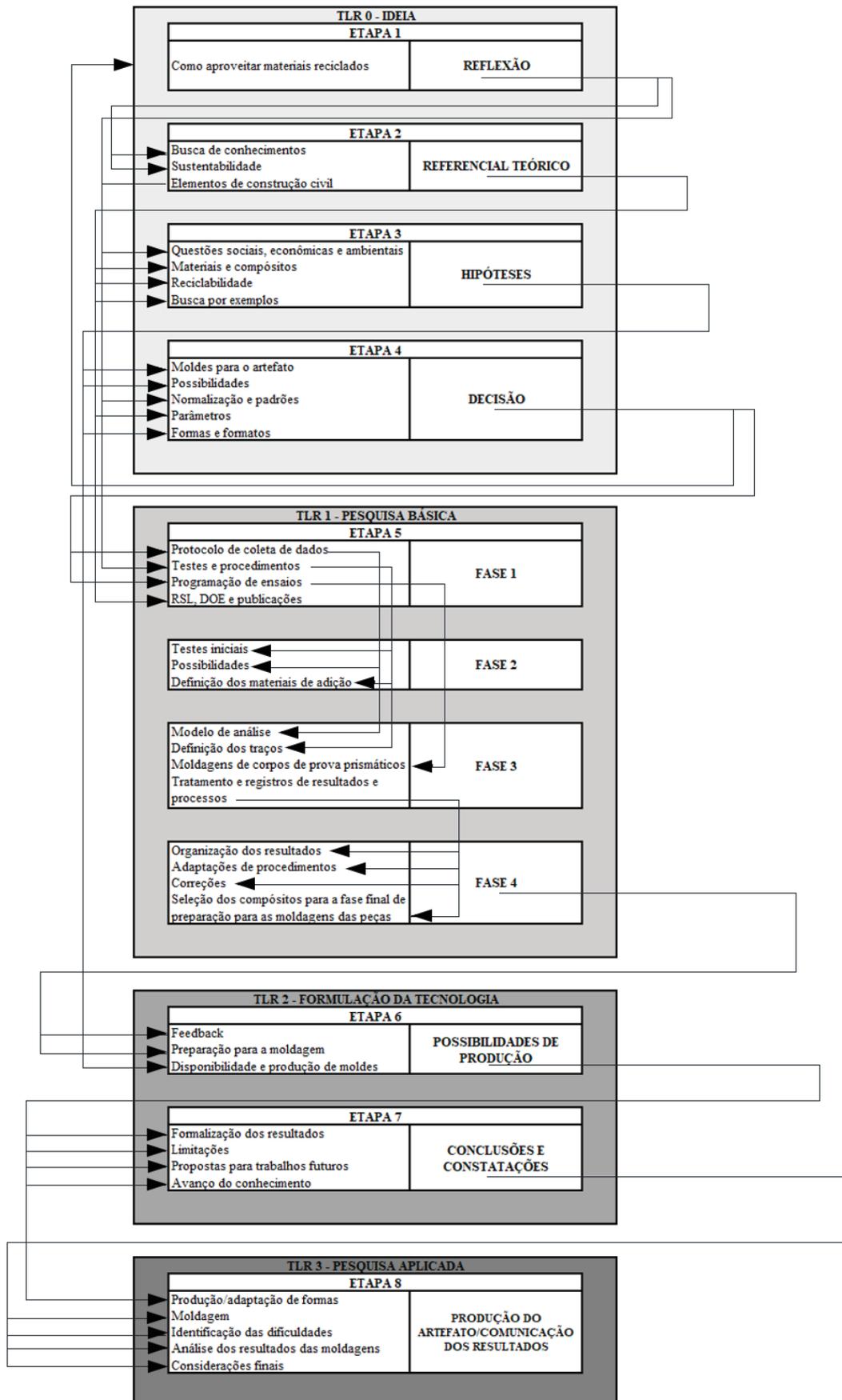
Os dois materiais selecionados para essa pesquisa foram as aparas de papel termossensível e EPS triturado, extraídos de rejeitos de RSU e depois, um outro material foi escolhido, também produzido a partir de resíduos, as fibras de lã de PET. A escolha dos compósitos para a próxima etapa dessa pesquisa, foi para que cada um dos materiais de adição pudesse ter um compósito selecionado. Por fim, na comparação, foi possível considerar como o melhor resultado os compósitos com [7,5%+0,2%] composto de aparas de papel

termossensível e com [1,5% + 0,2%], com EPS e fibra de lã de PET que, pela análise estatística que pode ser visualizada no apêndice 1 permaneceram no mesmo grupo dos seus respectivos compósitos padrão, sem adições.

#### **4.1.5. RESUMO DAS TRL's**

A sequência das etapas propostas neste estudo e os resultados já citados nas tabelas está organizada na FIGURA 5 que ilustra as grandes fases adotadas para o processo de inovação do produto, abordando as fases de TRL e os procedimentos do estudo desde o princípio.

FIGURA 5 – O Processo de Inovação do Produto - Etapas

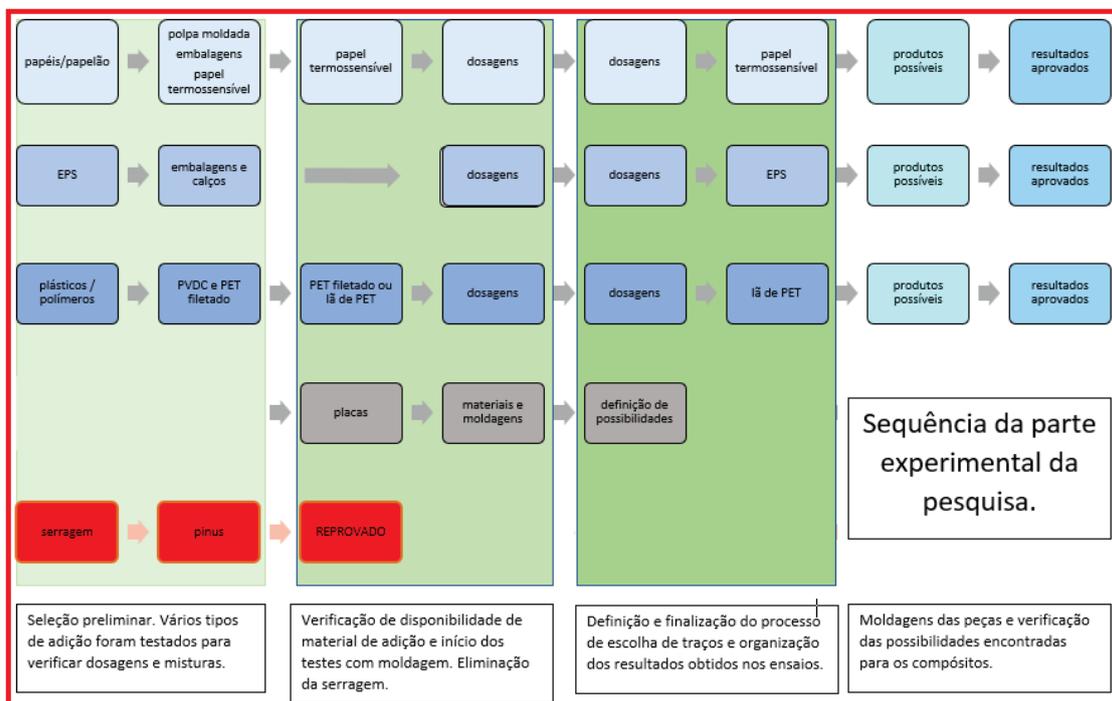


FONTE: A autora (2022).

A parte experimental pesquisa foi longa e com muitos processos. Nessa linha de trabalho, foram necessários testes, ensaios, análises e decisões. Alguns materiais de adição foram utilizados e outros descartados. Devido a isso, foi elaborado um infográfico para apresentar resumidamente essa sequência de experimentos que se desenvolveram desde a Etapa 5 até a Etapa 8.

Na FIGURA 6 podem ser identificados os passos para a seleção e organização dos tipos de materiais de adição. No início foram testados quatro tipos de materiais simultaneamente, desses, o pinus foi rejeitado completamente e os polímeros foram mantidos, porém para a fase final de adições. Durante os testes de materiais de adição pré-selecionados, foram introduzidos experimentos com placas moldadas no laboratório para verificar a capacidade de moldagem dos compósitos. Por fim, após a seleção dos compósitos com os resultados considerados adequados (levando-se em conta as recomendações das normas já citadas), foram feitas moldagens das peças escolhidas e registrados os resultados.

FIGURA 6 – O Processo experimental dos novos compósitos



FONTE: A autora (2022).

#### 4.1.6. A MOLDAGEM DE ELEMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

Após a escolha dos compósitos pelo critério da norma para placas, foram moldados nos elementos escolhidos tanto para os compósitos com EPS [1,5% + 0,2%] quanto com PTS

[7,5%+0,2%].

O sistema de moldagem e desmoldagem escolhido no caso dos blocos vazados necessitava que as peças fossem desenformadas logo após a moldagem manual, com o compósito ainda no estado fresco. Para essas peças, utilizou-se uma forma metálica artesanal para meios-blocos. Os elementos foram moldados, porém nem todas as peças puderam ser desmoldadas sem sofrer danos. Nesse caso, de acordo com o fabricante da forma, o material fresco deve ser introduzido no molde e compactado com golpes da fôrma numa superfície firme. Após preenchido, o molde deve ser virado de ponta-cabeça para o desenforme, e ainda com o material em estado fresco, deve ser desenformado para a liberação da fôrma para a próxima moldagem. A FIGURA 7 apresenta a sequência em que os compósitos com adição de EPS e PTS foram moldados. O compósito com EPS desmoronou totalmente e o compósito com adição de PTS, desmoronou parcialmente. Os dois tipos de compósitos se mostraram instáveis para a moldagem de blocos vazados. Apesar disso, bloco moldado do compósito de PTS que permaneceu íntegro, foi colocado para a secagem em ambiente livre e permaneceu sem alterações visíveis.

FIGURA 7 – Processo moldagem e desmoldagem dos meio-blocos



FONTE: A autora (2022).

Para as placas, foram utilizadas formas no formato quadrado de 40cm x 40cm x 3cm e retangulares com 40cm x 20cm x 1,5cm. Os bloquinhos maciços foram moldados na forma prismática de ensaio para concreto de 7,5cm x 7,5cm x 29,5cm que foi adaptada para o comprimento e espessura escolhidos para a moldagem. A FIGURA 8 apresenta os moldes utilizados para a produção dessas peças. A escolha pelos moldes adaptados a partir das formas para moldagem de corpos de prova prismáticos para ensaios foi pela inexistência de formas específicas para blocos/tijolos no laboratório. No caso dessas peças, houve um

período de cura de 72 horas antes da desmoldagem.

FIGURA 8 – Fôrmas dos bloquetes (moldes hexagonais) e dos blocos maciços (moldes prismáticos para corpos de prova)



FONTE: A autora (2022).

Após a moldagem das placas, bloquetes e blocos maciços, as peças, ainda nos moldes, foram deixadas por 48 horas para a cura seca em ambiente livre para posterior desmoldagem. Depois da desmoldagem, elas foram transferidas para um local em ambiente aberto para finalizar a cura. As peças com o compósito com adição de PTS tiveram suas formas preservadas, sem danos após a desmoldagem e cura. A placa produzida com o compósito de EPS de 40 cm x 40 cm x 3 cm sofreu danos na desmoldagem e foi descartada. A imagem das peças após o desenforme estão apresentadas na FIGURA 9. É possível visualizar a aparência e os formatos das peças moldadas com os compósitos selecionados.

FIGURA 9 – Peças produzidas com os compósitos selecionados



FONTE: A autora (2022).

Para resumir, foi elaborado o QUADRO 7, com os tipos de compósitos utilizados para as moldagens, suas dimensões e tipo de peça produzida. Sinais verdes e vermelhos foram

utilizados para indicar o material utilizado em cada tipo de peça moldada. O sinal verde (✓) indica que o compósito que foi utilizado aceitou a moldagem e a desmoldagem sem danos às peças e o sinal vermelho (✗) indica que o compósito foi utilizado, porém na desmoldagem a peça sofreu danos que inviabilizaram a produção desses elementos com aquela composição.

QUADRO 7 – Moldagens e possibilidades para cada compósito

PEÇA	FORMATO	DIMENSÕES	COMPÓSITO
BLOQUETE 1, 2, 3 e 4	hexagonal	Aresta = 12cm Largura = 20cm	✓ EPS + PET ✓ PTS + PET
BLOCO VAZADO	retangular	19x19x14	✗ EPS + PET ✓ PTS + PET
BLOCO MACIÇO 1	retangular	20x7,5x3	✓ EPS + PET ✓ PTS + PET
BLOCO MACIÇO 2	retangular	20x7,5x5x	✓ EPS + PET ✓ PTS + PET
PLACA 1	retangular	40x20x1,5	✓ EPS + PET ✓ PTS + PET
PLACA 2	retangular	40x40x3	✗ EPS + PET ✓ PTS + PET

FONTE: A autora (2022).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se considerarem as análises dos resultados, foi possível concluir que os compósitos propostos têm potencial para a produção de produtos sob moldagem para a construção civil. As escolhas foram feitas observando-se os resultados que foram analisados tomando-se por base as determinações para placas de fibrocimento da norma brasileira (ABNT NBR 15498, 2016).

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica da utilização de rejeitos de RSU coletados numa cooperativa local, para a produção de compósitos cimentícios destinados à construção civil. Para isso, os compósitos propostos foram divididos em grupos e avaliados em suas características físicas e mecânicas, NBR 13279:05, na determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica na idade de 28 dias, NBR 8802:19, na determinação do índice de consistência (estado fresco), NBR 13276:16. Absorção de água por capilaridade, NBR 9779:12. (ABNT, 2012, 2016, 2019) e análise de MEV no terceiro grupo da fase inicial, com a finalidade de verificar a distribuição interna dos materiais de composição dos compósitos.

Durante a coleta dos materiais retirados dos rejeitos de RSU, as fibras vegetais ou celulósicas de diferentes origens (polpas moldadas, papéis e papelões), e as fibras sintéticas (plásticos e polímeros) em sua composição foram notadamente as que se encontravam em maior quantidade. Esses rejeitos foram usados como material de adição em compósitos cimentícios na fase inicial do estudo, respeitando-se as recomendações das normas brasileiras para os critérios de resistência mecânica e.

Para se chegar aos objetivos pretendidos, foi preciso avaliar a viabilidade técnica da produção dos compósitos propostos. Para isso, após a fase inicial em que se testaram as possibilidades e traços que tiveram base nos trabalhos selecionados pela RSL, foi delineado o experimento para a fase de testes dos materiais de adição escolhidos. A análise dos resultados dos experimentos comprovou que há condição de uso para os materiais coletados como adição em compósitos cimentícios. O Apêndice 1 apresenta em detalhes as fases experimentais e foi produzido tomando-se como base o resultado dos experimentos que foram propostos para avaliar a afirmativa de viabilidade técnica alcançada.

Assim, foi possível identificar as propriedades mecânicas, físicas e morfológicas dos compósitos de cimento Portland com adição desses materiais alternativos bem como desenvolver os compósitos.

Verificou-se que os compósitos podem ser moldados para produção de peças para pisos

do tipo bloquetes, placas, blocos vazados e blocos maciços. De acordo com os experimentos realizados e com a resposta obtida nos testes, concluiu-se que, embora os valores de referência dos corpos de prova sem adições adotados neste estudo tenham sido maiores, isso não significa que os compósitos sejam ruins.

Para a análise adotou-se como referência a recomendação de valores mínimos que a NBR15498:2016 determina para ensaios de amostras de placas de fibrocimento e, nesse quesito, os resultados foram satisfatórios para o compósito com a adição de PTS (3,75MPa) no ensaio de placa. O compósito com adição de EPS teve resultados adequados pela norma já citada, porém somente quando aplicado o fator de redução de 0,7 previstos como limite ((3,18MPa). Dessa forma, esse compósito só aceitou a moldagem para peças menores, como os blocos maciços e placas de menores dimensões que poderão ser utilizadas como peças de revestimento vertical. Tanto na tentativa de moldagem para os blocos vazados quanto de placas quadradas de 40cm x 40cm x 3cm, o compósito se comportou como esperado pela análise, desmoldando e quebrando na desmoldagem em estado fresco.

O compósito com adição de PTS aceitou a moldagem de blocos vazados permanecendo estável após a desmoldagem, ainda em estado fresco. Como um dos blocos moldados com esse compósito não resistiu à desmoldagem, acredita-se que alguns ajustes ainda serão necessários para que os compósitos se adequem ao uso que aqui se propõe.

As conclusões deste estudo podem ser justificadas quando se consideram que, na interpretação dos efeitos principais dos compósitos com aparas de papel termossensível, comparados pelo teor de adições, os resultados escolhidos como os mais adequados foram os dos compósitos com adição de 7,5% de aparas de papel termossensível acrescidos de 0,2% de fibras de lã de PET, visando resultados que atendessem à norma brasileira e ao quesito sustentabilidade. Apesar do decréscimo do valor do módulo de elasticidade quando comparados ao valor do compósito sem adições, a escolha teve como base a tendência de que com a adição das fibras, os valores da VPU ficassem maiores do que os dos compósitos sem adições ou com adição somente de aparas de papel termossensível.

Quanto aos compósitos das misturas com teores de EPS com fibras de lã de PET, aos 28 dias, os resultados dos compósitos com adição de PET tiveram resultados menores que os sem adições (padrão de referência estabelecido para comparação nesta pesquisa) ou com adição de EPS somente. Os resultados dos testes de tração na flexão dos dois compósitos com teores de 0,15% e 0,2% de PET foram iguais, sob o ponto de vista da estatística (3,17 e 3,18 MPa), por isso, optou-se pelos compósitos com os teores de adição (1,5% + 0,2%), pois os resultados atendem à norma brasileira e ao quesito sustentabilidade proposto nesta tese.

Com o passar do tempo, houve uma tendência de aumento da VPU para todos os teores de adição e, aos 28 dias, os compósitos com adições de EPS obtiveram resultados parecidos aos do compósito padrão, sem adições. Os testes de DMS confirmaram a condição de semelhança. Houve decréscimo dos valores do módulo de elasticidade dinâmico na medida em que se acrescentaram as adições de fibras de lã de PET. Porém, as misturas com 1,5% de EPS, apresentaram pouca variação, podendo ser considerados semelhantes sob o ponto de vista das DMS.

Dessa forma, o compósito de EPS e fibra de lã de PET [1,5% + 0,2%] apresentou resultados sem indícios de DMS com o padrão escolhido para comparação (0% de adições), com a vantagem de maior aproveitamento de materiais alternativos coletados de RSU.

Os dois materiais que foram selecionados para essa pesquisa são as aparas de papel termossensível e EPS triturado, extraídos exclusivamente de rejeitos de RSU e depois, um outro material foi escolhido, também produzido a partir de resíduos, as fibras de lã de PET. Por fim, na comparação, foi possível considerar como o melhor resultado para a FASE IV, os compósitos com [7,5%+0,2%] composto de aparas de papel termossensível e com [1,5% + 0,2%], com EPS e fibra de lã de PET, que permaneceram no mesmo grupo dos seus respectivos compósitos padrão, sem adições.

Dessa forma, concluiu-se que até a FASE III, a adição de fibras de lã de PET foi benéfica aos compósitos, que tiveram resultados semelhantes aos padrões de comparação e ainda possibilitam o aproveitamento de rejeitos problemáticos de RSU.

## **6. RECOMENDAÇÕES E VISÕES PARA O FUTURO**

Considera-se que este estudo teve um propósito inovador e ainda é necessário que sejam feitos novos testes para entender os processos e as reações envolvidas na mistura de materiais novos e diferentes. Testes para entender se acontece e como acontece a degradação do bisfenol no meio alcalino da pasta cimentícia e a sua influência no comportamento do compósito ao longo do tempo.

Outros materiais que foram alvo do estudo inicial também podem ser mais bem investigados quanto ao seu aproveitamento, tal como é o caso do PVDC filetado como substituto para a fibra de lã de PET, ou ainda a possibilidade de se produzirem fibras de PET em dimensões adequadas para darem o incremento de resistência esperado para fibras poliméricas aos compósitos.

Considerar para um estudo futuro, abranger as possibilidades de se investigar outros aspectos sobre os materiais retirados dos rejeitos de RSU, tais como o custo financeiro da utilização e as possibilidades de se traçar um novo ciclo de vida para esses materiais.

A ideia é trazer novas visões para um futuro, que esta autora espera que seja não muito distante em que, aproveitar, reaproveitar, usar e reusar se tornarão rotina nos processos produtivos criativos e tecnológicos.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria. O que é EPS? 2019. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html> Acesso em: 23 mar. 2019.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738:2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016

\_\_\_\_\_. NBR 8802:2019 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 9779:2012 - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 13230:2008 - Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 13276:2016 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15261:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15395:2006 - Garrafa soprada de PET para refrigerantes e águas - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 15498:2016 - Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 15588:2008 - Pré-forma de PET para sopro de embalagem para alimentos e bebidas - Requisitos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR15630:2008 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 15988:2009 - Plásticos - Filme e revestimento de poli(tereftalato de etileno) (PET) biorientado. ABNT, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR16687:2018 - Cimento Portland – Requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. NBR16832:2020 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Lãs de PET para isolamento térmico e acústico – Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2020.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. [s.i], 2021. 54 p. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 17 jan. 2022.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019. [s.i], 2019. 68 p. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

ACDA, S. P.; MASILUNGAN, H. G. D.; MOOG, B. A., Partial substitution of commercial swine feeds with malunggay (*Moringa oleifera*) leaf meal under backyard conditions. Philippine J. Vet. Anim. Sci., 2010. 36 (2): 137-146. Disponível em: <<https://www.feedipedia.org/node/19755>>. Acesso em: 29 set. 2019

AL-HADITHI, A. I., HILAL, N. N. The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers. Journal of Building Engineering (2016) 20–28. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.06.011>>. Acesso em: 19 set. 2016

ALANI A. H.; BUNNORI, N. M.; NOAMAN, A. T.; MAJID, T.A. Mechanical characteristics of PET fibre-reinforced green ultra-high-performance composite concrete. EUROPEAN JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND CIVIL ENGINEERING. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1772117>>. Acesso em: 04 nov. 2020.

AMADEI, D. I. B.; PEREIRA, J. A.; SOUZA, R. A.; MENEGUETTI, K. S. A QUESTÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: UM BREVE ESTADO DA ARTE. Revista NUPEM, Campo Mourão, v.3, n.5, ago./dez.2011. Disponível em: <<http://www.fecilcam.br/revista/index.php/nupem/article/view/72/41>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

AMBIENTE BRASIL. Estatísticas de Reciclagem - Lixo. 2020. Redação Ambiente Brasil. Disponível em: <[https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/estatisticas\\_de\\_reciclagem/estatisticas\\_de\\_reciclagem\\_-\\_lixo.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/estatisticas_de_reciclagem/estatisticas_de_reciclagem_-_lixo.html)>. Acesso em: 26 nov. 2018.

ANJOS, M. A. S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu.: parte i: determinação do teor de reforço ótimo. Parte I: Determinação do teor de reforço ótimo. 2003. Construções Rurais e Ambiente • Rev. bras. eng. agríc. ambient. 7 (2) • Ago 2003 • <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200026>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/9mQ8XBzjy8dMkJb8Y73sq5j/?lang=pt>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

ARAÚJO, C. R. de et al. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) COM FIBRA DE COCO. 2020. The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 06 N. 05 (2020). Disponível em: <<https://1library.org/document/zww2x8lz-obtencao-caracterizacao-compositos-poli-etileno-alta-densidade-pead-fibra.html>>. Acesso em: 25 set. 2020.

ARAÚJO, R. SESI/SENAI/IEL. Afinal, inovação e invenção são a mesma coisa? 2022. © 2022 Blog SENAI Ceará - GETIC - Portais. Disponível em: <<https://www.senai-ce.org.br/blog/afinal-inovacao-e-invencao-sao-a-mesma-coisa/>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research. Construction and Building Materials,

79. (2015) p155+. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815000550?via%3Dihub>>. Acesso em 23 abr. 2019.

ASOKAN, P., OSMANI, M. and PRICE, A.D.F., 2009. Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites. *Journal of Cleaner Production*, 17 (9), pp. 821–829. Disponível em: <[https://repository.lboro.ac.uk/articles/journal\\_contribution/Assessing\\_the\\_recycling\\_potential\\_of\\_glass\\_fibre\\_reinforced\\_plastic\\_waste\\_in\\_concrete\\_and\\_cement\\_composites/9458069](https://repository.lboro.ac.uk/articles/journal_contribution/Assessing_the_recycling_potential_of_glass_fibre_reinforced_plastic_waste_in_concrete_and_cement_composites/9458069)> . Acesso em: 30 abr. 2019.

ASTM - American Society for Testing and Materials – ASTM International C109/C109M-20b Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). West Conshohocken, PA; ASTM International, 2020. doi: [https://doi.org/10.1520/C0109\\_C0109M-20B](https://doi.org/10.1520/C0109_C0109M-20B)

\_\_\_\_\_. C183/C183M-16 Standard Practice for Sampling and the Amount of Testing of Hydraulic Cement. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2016. doi: [https://doi.org/10.1520/C0183\\_C0183M-16](https://doi.org/10.1520/C0183_C0183M-16)

\_\_\_\_\_. C305-20 Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2020. doi: <https://doi.org/10.1520/C0305-20>

\_\_\_\_\_. C1185-08(2016) Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2016. doi: <https://doi.org/10.1520/C1185-08R16>

\_\_\_\_\_. C1186-08 Standard Specification for Flat Fiber-Cement Sheets. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2008. doi: <https://doi.org/10.1520/C1186-08>

\_\_\_\_\_. C1288-17 Standard Specification for Fiber-Cement Interior Substrate Sheets. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2017. doi: <https://doi.org/10.1520/C1288-17>

\_\_\_\_\_. D5047-17 Standard Specification for Polyethylene Terephthalate Film and Sheeting. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2017. doi: <https://doi.org/10.1520/D5047-17>

\_\_\_\_\_. D8195-18 Standard Classification System and Basis for Specification for Polyethylene Terephthalate Film and Sheeting. West Conshohocken, PA; ASTM International, 2018. doi: <https://doi.org/10.1520/D8195-18>

AZEVEDO, T. M. Q. P. Avaliação do comportamento da aderência de um novo sistema de compósito laminado para reforço em estrutura de concreto. 2021. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2021. Disponível em: <<http://www.bdt.uerj.br/handle/1/16799>>. Acesso em: 14 dez. 2021.

AZIZ, M. A.; PARAMASIVAM, P.; LEE, S.L. Concrete reinforced with natural fibres. In: SWAMY, R. N. ed. *Natural fibre reinforced cement and concrete* London: Blackie and Son Ltd, 1984, v. 5, chapter 3, p. 106-140.

BAGHERZADEH, R.; SADEGHI, A.; LAFITI, M. Utilizing polypropylene fibers to improve

physical and mechanical properties of concrete. DOI: 10.1177/0040517511420767 Textile Research Journal Textile Research Journal 82(1):88-96 14 September 2011. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/258196240\\_Utilizing\\_polypropylene\\_fibers\\_to\\_improve\\_physical\\_and\\_mechanical\\_properties\\_of\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/258196240_Utilizing_polypropylene_fibers_to_improve_physical_and_mechanical_properties_of_concrete)>. Acesso em: 05 nov. 2020.

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. Use of select waste materials in concrete mixes. Waste Management, v.27, p.1870-1876, 2007. Disponível em: <[https://www.academia.edu/6533236/Use\\_of\\_selected\\_waste\\_materials\\_in\\_concrete\\_mixes](https://www.academia.edu/6533236/Use_of_selected_waste_materials_in_concrete_mixes)>. Acesso em: 25 dez. 2018

BENTCHIKOU, M., GUIDOUM, A., SCRIVENER, K., SILHADI, K., HANINI, S. Effect of recycled cellulose fibers on the properties of lightweight cement composite matrix. Construction and Building Materials 34.1 p451. 2012. Disponível em: <[https://www.academia.edu/28509201/Effect\\_of\\_recycled\\_cellulose\\_fibres\\_on\\_the\\_properties\\_of\\_lightweight\\_cement\\_composite\\_matrix](https://www.academia.edu/28509201/Effect_of_recycled_cellulose_fibres_on_the_properties_of_lightweight_cement_composite_matrix)> Acesso em: 23 abr. 2019.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J.. Composites reinforced with cellulose based fibres. 1999. Prog. Polym. Sci. 24 (1999) 221–274 Universita t (Gh) Kassel, Institut fu r Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik, Mo nchebergstra ße 3, 34109 Kassel, Germany. Disponível em:<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0079670098000185?token=E18D0FDB088607648CC8EFD3CCF6C9CB142FA96C28E17948D17BC3AFD2DDD16B238BE4024D28CF8BFA5A1DDC03612EF2&originRegion=us-east-1&originCreation=20220126135839>>. Acesso em: 17 set. 2019.

BICAS, H. E. A. Ineditismo, originalidade, importância, publicidade, interesse e impacto de artigos científicos. ABO v. 71, n. 4, p.473-474, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abo/v71n4/a01v71n4.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BILCATI, G. K.; MATOSKI, A.; TRIANISKI, R.; LENGOWSKI, E. C. Effects of pre-treatment of Curauá fibers on compatibility with portland cements. 2018. SciELO - Scientific Electronic Library Online. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/JcMQXL9fhWwxFtXbSCHTxLp/abstract/?lang=en>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

BJÖRNSDOTTER, Maria K; BOER, J.; A BALLESTEROS-GÓMEZ,. Bisphenol A and replacements in thermal paper: A review. 2017. 2017 Sep;182:691-706. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.070. Epub 2017 May 15. PMID: 28528315. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28528315/>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

BNDES. PERSPECTIVAS DEPEC 2018: O CRESCIMENTO DA ECONOMIA BRASILEIRA 2018-2023. 2018. Elaborado por Guilherme Tinoco e Fabio Giambiagi, respectivamente economista e economista chefe do Departamento de Pesquisa Econômica do BNDES. Editado pelo Departamento de Comunicação Abril de 2018. Disponível em: <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14760/1/Perspectivas%202018-2023\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14760/1/Perspectivas%202018-2023_P.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2018.

BRASIL. Portaria n. 345, de 3 de agosto de 2007. Alterada pela Portaria n. 550, de 11 de novembro de 2016, Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais – SiNAT, no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H. Diário Oficial da União – DOU, DF, 14 nov. de 2016. Disponível em:

<[http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24505082/do1-2016-11-14-portaria-n-550-de-11-de-novembro-de-2016-24504990](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24505082/do1-2016-11-14-portaria-n-550-de-11-de-novembro-de-2016-24504990)>. Acesso em: 14 nov 2018.

CAMPENHOUDT, L. V; MARQUET, J.; QUIVY, R. Manuel de recherche en sciences sociales. 5.ed. Paris: Dunod, 2017.

CESTEH. Proibição do uso do amianto no Brasil e no mundo. Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana da Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em: <<http://www.cesteh.ensp.fiocruz.br/noticias/pela-proibicao-do-uso-do-amianto-no-brasil-e-no-mundo%2004112020>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

CHALMERS, D. J. How Can We Construct a Science of Consciousness? Department of Philosophy University of Arizona Tucson, AZ 85721. M. Gazzaniga (ed.), The Cognitive Neurosciences III (MIT Press, 2004). Disponível em: <<http://consc.net/papers/scicon.html>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

CHENG, X.M.; KHORAMI, M.; SHI, Y.; LIU, K.Q.; GUO, X.Y. AUSTIN S.; SAIDANI, M. A new approach to improve mechanical properties and durability of low-density oil well cement composite reinforced by cellulose fibres in microstructural scale. Construction and Building Materials, [s.l.], v. 177, p.499-510, jul. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.134>> .Acesso em: 28 fev. 2019

CHOI, W. C.; YUN, H. D.; KANG, J. D.; KIM, S. W.. Development of recycled strain-hardening cement-based composite (SHCC) for sustainable infrastructures. 2012. Composites Part B: Engineering Volume 43, Issue 2, March 2012, Pages 627-635. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836811005294?via%3Dihub>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CONDEIXA, K.; HADDAD, A. BOER, D. Life Cycle Impact Assessment of masonry system as inner walls: A case study in Brazil. Disponível em: <[https://scholar.google.com.br/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=pt-BR&user=L\\_HOKGYAAAAJ&citation\\_for\\_view=L\\_HOKGYAAAAJ:d1gkVwhDpl0C](https://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=L_HOKGYAAAAJ&citation_for_view=L_HOKGYAAAAJ:d1gkVwhDpl0C)>. Acesso em: 30 jan. 2022.

CONTI, D. M. Interview with John Elkington. Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares, v. 2, e215422, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.24220/2675-7885v2e2021a5422>>. Acesso em: 28 jan. 2022.

COUTTS, R. S. P. Wastepaper fibres in cement products. International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, v. 11, n. 3, p. 143–147, ago. 1989. Disponível em:<<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0262507589900857?token=9C4CBC3F02192B322B51711064C89D997967B4749CFB88A43EDA7E3B564EF1BC95FA5E333AEC9F7728EBD21E7B60EDE6&originRegion=us-east-1&originCreation=20220130130915>> Acesso em: 30 jan. 2022.

CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. Designing and conducting mixed methods research. 2 ed. Los Angeles: SAGE Publications, 2011.

D'ÁLMEIDA, M. L. O.; KOGA, M. E. T.; FERREIRA, D. C.; PIGOZZO, R. J. B. Composição química da madeira e matérias-primas fibrosas. In: SENAI (SP). Celulose. São Paulo: SENAI, 2013. Cap.1, p.11-58. (Série Informações Tecnológicas: Área de Celulose e Papel). Disponível em: <[https://www.ipt.br/unidades\\_de\\_negocios/TRM/livros/20-composicao\\_quimica\\_da\\_madeira\\_e\\_materias\\_primas\\_fibrosas\\_capitulo\\_de\\_livro\\_.htm](https://www.ipt.br/unidades_de_negocios/TRM/livros/20-composicao_quimica_da_madeira_e_materias_primas_fibrosas_capitulo_de_livro_.htm)> Acesso em: 13 mar. 2019.

DETOMI, A. C.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; PANERA, T. H.; SCHIAVON, M. A. . Replacement of Quartz in Cementitious Composites Using PET Particles: A Statistical Analysis of the Physical and Mechanical Properties. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 28, n. 1, p. 06015006, jan. 2016. DOI: 10.1061/(ASCE)MT. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001358. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001358>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

DHAKAL, H.N., ZHANG, Z.Y., RICHARDSON, M.O.W. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. Composites Science and Technology 67 (2007) 1674–1683 14 September 2006. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0266353806002363?token=0F4D4244DEFC5BAABF8B6EA8B47549350861E0EB7808E89C8E08BEBF1F2489E33B78F4372D0C2141260ED205DD8EA0F1>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DUTIL, Y.; ROUSSE, D.; QUESADA, G.. Sustainable Buildings: An Ever Evolving Target. 2011. Sustainability 2011, 3, 443-464; doi:10.3390/su3020443. Technologies of Energy and Energy Efficiency (T3E), École de Technologie Supérieure, 201 Boul. Mgr, Bourget, Lévis, QC, G6V 6Z3, Canada. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/49616494\\_Sustainable\\_Buildings\\_An\\_Ever\\_Evolving\\_Target/link/0deec51f675ce00a7b000000/download](https://www.researchgate.net/publication/49616494_Sustainable_Buildings_An_Ever_Evolving_Target/link/0deec51f675ce00a7b000000/download)>. Acesso em: 09 maio 2019.

ECYCLE. Isopor é útil, mas tem grande impacto ambiental. 2020. Elaborado por Equipe eCycle. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/eps-isopor/>>. Acesso em: 17 set. 2020.

ECKARDT, M.; SIMAT, T. J. Bisphenol A and alternatives in thermal paper receipts - a German market analysis from 2015 to 2017. 2017. 2017 Nov;186:1016-1025. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.08.037. Epub 2017 Aug 11. PMID: 28838039. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28838039/>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

EN - Comité Européen de Normalisation. EN15348:2014 - PLASTICS - RECYCLED PLASTICS - CHARACTERIZATION OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) (PET) RECYCLATES. Disponível em: <<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/917e0064-6950-470e-8d87-9a6b33a40499/en-15348-2014>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

FABRICIO, M. M. Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Área de Concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana São Paulo, 2002. Disponível

em:<[https://www.researchgate.net/publication/264825683\\_Projeto\\_Simultaneo\\_na\\_Construcao\\_de\\_Edificios](https://www.researchgate.net/publication/264825683_Projeto_Simultaneo_na_Construcao_de_Edificios)>. Acesso em: 11 ago. 2016.

FAO/WHO. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Joint FAO/WHO expert meeting to review toxicological and health aspects of bisphenol A: final report, including report of stakeholder meeting on bisphenol A, 1-5 November 2010, Ottawa, Canada. Disponível em: <[http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44624/97892141564274\\_eng.pdf;jsessionid=46764255C7DAFBE5F0CA7D89501A8BD0?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44624/97892141564274_eng.pdf;jsessionid=46764255C7DAFBE5F0CA7D89501A8BD0?sequence=1)>. Acesso em: 09 fev. 2022.

FARIA, M. C. M. *et al.* Estudo da influência do condicionamento higrotérmico nas propriedades viscoelásticas de compósitos termoplásticos. 2017. *Polímeros*, 27(número especial), 77-83, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/po/a/xRRHBxpMhBtLYRHwCrG3CnB/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20 set. 2018.

FREITAS, W. R. S.; JABBOUR, C. J. C. UTILIZANDO ESTUDO DE CASO(S) COMO ESTRATÉGIA DE PESQUISA QUALITATIVA: BOAS PRÁTICAS E SUGESTÕES. 2011. Disponível em: <<http://www.meep.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/560>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

FRATERNALI, F.; CIANCIA, V.; CHECHILE, R.; RIZANO, G.; FEO, L.; INCARNATO, L. Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycled PET fiber-reinforced concrete. *Composite Structures*, v. 93, n. 9, p. 2368–2374, 1 ago. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822311001097>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

FUWAPE, J. A.; FABIYI, J. S.; OSUNTUYI, E. O. Technical assessment of three-layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. *Waste Management*, v. 27, n. 11, p. 1611–1616, jan. 2007. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Technical-assessment-of-three-layered-cement-bonded-Fuwape-Fabiyi/71aca18f88bf2aa197f4d6cd78e865afd7e55a16>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

GHAVAMI, K., TOLEDO FILHO, R. D., BARBOSA, N. P. Behaviour of composit soil reinforced with natural fibres. *Cement and Concrete Composites* V.21, issue 1, 1999, pp 39-48. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(98\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(98)00033-X)>. Acesso em 03 jun. 2019.

GIBBONS, M.; LIMOGES, C.; NOWOTNY, H. SCHWARTZMAN, S.; SCOTT, P.; TROW, M. *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*, London. 1994. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/225088790\\_The\\_New\\_Production\\_of\\_Knowledge\\_The\\_Dynamics\\_of\\_Science\\_and\\_Research\\_in\\_Contemporary\\_Societies/download](https://www.researchgate.net/publication/225088790_The_New_Production_of_Knowledge_The_Dynamics_of_Science_and_Research_in_Contemporary_Societies/download)>. Acesso em: 18 mar. 2019.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 5 ed., 2010.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. *MIS Quaterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/25148625>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

HISSEINE, O. A.; WILSON, W.; SORELLI, L.; TOLNAI, B.; TAGNIT-HAMOUB

A. Nanocellulose for improved concrete performance: A macro-to-micro investigation for disclosing the effects of cellulose filaments on strength of cement systems. 2019. *Construction and Building Materials* Volume 206, 10 May 2019, Pages 84-96. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181930337X?via%3Dihub>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

HOSPODAROVA, V.; STEVULOVA, N.; VACLAVIK, V.; DVORSKY, T. Implementation of recycled cellulosic fibres into cement based composites and testing their influence on resulting properties. 1st International Conference on Advances in Environmental Engineering (AEE 2017) IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 92 (2017) 012019 doi :10.1088/1755-1315/92/1/012019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/320824960\\_Implementation\\_of\\_recycled\\_cellulosic\\_fibres\\_into\\_cement\\_based\\_composites\\_and\\_testing\\_their\\_influence\\_on\\_resulting\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/320824960_Implementation_of_recycled_cellulosic_fibres_into_cement_based_composites_and_testing_their_influence_on_resulting_properties)>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ISMAIL, Z.; AL-HASHMI, E. A. Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement. 2007. *Waste Management* 28 (2008) 2041–2047. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0956053X07002784?token=922D2C5EDFD9A72D1D18A41C9FDF7A3ADA497F8930E3427E60D6738727AA76DC63F61AC7CCCE9D9E6103CE510786C759&originRegion=us-east-1&originCreation=20220126170938>>. Acesso em: 8 out. 2019.

ISO – International Standardization Organization. ISO12418-1:2012 Plastics — Post-consumer poly(ethylene terephthalate) (PET) bottle recyclates — Part 1: Designation system and basis for specifications. Geneva, Switzerland, 2012.

\_\_\_\_\_. ISO13636:2012 Plastics — Film and sheeting — Non-oriented poly(ethylene terephthalate) (PET) sheets. Geneva, Switzerland, 2012

IZQUIERDO, Indara Soto; RAMALHO, Marcio Antonio. Aplicação de cinzas residuais e de fibra de sisal na produção de argamassas e concretos: Revisão. 2014. *Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte*. Vol. 32 n.º 2: 344-368, 2014 ISSN: 0122-3461 (impreso) 2145-9371 (on line) Review ARTICLE. Disponível em: <[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-34612014000200009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612014000200009)>. Acesso em: 06 ago. 2019.

JIS-Japanese Standards Association. Z 1716: 2004 Non-oriented polyethylene terephthalate (PET) sheets and films for packaging. Japão, 2004. [https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/JIS-Z-1716-2015-624772\\_SAIG\\_JSA\\_JSA\\_1434749/](https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/JIS-Z-1716-2015-624772_SAIG_JSA_JSA_1434749/)

İYİGÜNDOĞDU, İ.; ÜSTÜNDAĞ, A.; DUYDU, Y.. Toxicological Evaluation of Bisphenol A and Its Analogues. 2020. *Turk J Pharm Sci*. 2020 Aug; 17(4): 457–462. Published online 2020 Aug 28. doi: 10.4274/tjps.galenos.2019.58219 PMID: PMC7489357 PMID: 32939144. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7489357/>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

KOSKELA, L. An exploration towards a production theory and its application to construction Espoo 2000. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 408. 296 p. Disponível em: <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P408.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

KLEIN, L. Todo papel é reciclável? 2017. *Conexão Planeta*. Disponível em:

<<https://conexaoplaneta.com.br/blog/todo-papel-e-reciclavavel/>>. Acesso em: 03 jan. 2022.

LEAL, M. M. R. Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Instituto Politécnico de Setúbal Portugal, 2012. Disponível em: <<https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/3954>>. Acesso em 07 nov. 2020.

LENG, Z.; PADHAN, R. K.; SECREERAN, A. Production of a sustainable paving material through chemical recycling of waste PET into crumb rubber modified asphalt. 2018. Journal of Cleaner Production Volume 180, 10 April 2018, Pages 682-688. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618301938>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LIGUORI, Barbara; IUCOLANO, Fabio; CAPASSO, Ilaria; LAVORGNA, Marino; VERDOLOTTI, Latizia. The effect of recycled plastic aggregate on chemico-physical and functional properties of composite mortars. 2014. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.01.006 May 2014 Materials and Design 57:578-584. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/260263824\\_The\\_effect\\_of\\_recycled\\_plastic\\_aggregate\\_on\\_chemico-physical\\_and\\_functional\\_properties\\_of\\_composite\\_mortars](https://www.researchgate.net/publication/260263824_The_effect_of_recycled_plastic_aggregate_on_chemico-physical_and_functional_properties_of_composite_mortars)>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LIMA JÚNIOR, U. M. Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios. Dissertação de Mestrado Engenharia e Tecnologia de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10923/3384>> Acesso em: 10 dez. 2018.

LIN, X.; YU, J.; LI, H.; LAM, J. Y. K.; SHIH, K.; SHAM, I. M. L.; LEUNG, C. K. Y. Recycling polyethylene terephthalate wastes as short fibers in Strain-Hardening Cementitious Composites (SHCC). 2018. Journal of Hazardous Materials Volume 357, 5 September 2018, Pages 40-52. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389418304023?via%3Dihub>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LU, C.; YU, J.; LEUNG, C. K. Y.. Tensile performance of sustainable Strain-Hardening Cementitious Composites with hybrid PVA and recycled PET fibers. 2018. The HONG KONG University of Science and Technology - HKUST SPD The Institutional Repository <http://hdl.handle.net/1783.1/90415>. Disponível em: <<http://repository.ust.hk/ir/Record/1783.1-90415>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

LUCAS, D., BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na Construção Civil. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008 – ISSN 1981-9951. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/850>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

LUNA, A. M., SHAIKH, F. U. A. Anisotropy and bond behaviour of recycled Polyethylene terephthalate (PET) fibre as concrete reinforcement. Construction and Building Materials 265 (2020) 120331. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120331>>. Acesso em 16 out. 2020.

MAHDI F.; KHAN A. A.; ABBAS, H. Physiochemical Properties of Polymer Mortar

Composites Using Resins Derived From Post-Consumer PET Bottles. Cement and concrete composites, v. 29, n. 3, p. 241-248, mar. 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/248504461\\_Physiochemical\\_properties\\_of\\_polymer\\_mortar\\_composites\\_using\\_resins\\_derived\\_from\\_post-consumer\\_PET\\_bottles](https://www.researchgate.net/publication/248504461_Physiochemical_properties_of_polymer_mortar_composites_using_resins_derived_from_post-consumer_PET_bottles)>. Acesso em: 27 fev. 2019.

MAHDI F.; KHAN A. A.; ABBAS, H. Mahdi, Khan e Abbas (2010). Strength characteristics of polymer mortar and concrete using different compositions of resins derived from post-consumer PET bottles. Construction and Building Materials Volume 24, Issue 1, January 2010, Pages 25-36. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061809002736?via%3Dihub>>. Acesso em: 25 set. 2019.

MANTOVANI, D. P., ROHEN, L. A., NEVES, A. C. C, VIEIRA, J. S., PONTES, L. A. P., VIEIRA, C. M. F., MARGEM, F. M E MONTEIRO, S. N. Comparative Analysis of the Tensile Properties of Polyester to Epoxy Matrixes Composites Reinforced with Hemp Fibers. 6th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production – Academic Work. 2017. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/COMPARATIVE-ANALYSIS-OF-THE-TENSILE-PROPERTIES-OF/71c748525d68c591164093f7c55955cc360ae354?p2df>>. Acesso em 13 mar. 2019.

MARTÍNEZ, K. Y. P.; TOSO, E. A. V.. Planejamento da produção na indústria de embalagens de polpa moldada. 2016. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1409-14>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gp/a/5NJZJDJc98JVzqQKSzfPm9c/?lang=pt>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

METHA, K; MONTEIRO, J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. PINI, São Paulo, 1994.

MONAHAN, J.; POWELL, J.C. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. 2011. Energy and Buildings. Disponível em: <<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378778810003154?token=C86194E08DC9E9BDF842A868F687DD212EE32CD0BA93F3D0EF50C7C50EF25664F9EF2C79A883D0EC3F217EAF0C67B92B&originRegion=us-east-1&originCreation=20220126122022>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

MOURA et al 2015, – Revista de estudos ambientais (Online) v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015 ISSN 1983 1501 PLACAS CIMENTÍCIAS À BASE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES João Marcos Bosi Mendonça de Moura e Lúcio Flávio da Silveira Matos Disponível em: <<http://gorila.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/5040/3192>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

NAIK, R. T.; CHUN, Y.; KRAUS, R.N. USE OF RESIDUAL SOLIDS FROM PULP AND PAPER MILLS FOR ENHANCING STRENGTH AND DURABILITY OF READY-MIXED CONCRETE. Final Report for the Period January 1, 2000 to June 30, 2003. September 18, 2003. UNIVERSITY OF WISCONSIN – MILWAUKEE (UWM) UWM Center for By-Products Utilization (CBU) College of Engineering and Applied Science Milwaukee, Wisconsin 53201 PREPARED FOR THE UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY IDAHO OPERATIONS OFFICE Work Performed Under Contract No. DE-FC07-00ID13867. Disponível EM:< <https://www.osti.gov/servlets/purl/815132>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

NEHDI, M., KHAN, A. Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications, Cement, Concrete and Aggregates. 2001. CCAAGDP, 23. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1520/CCA10519J>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

NEVES, C. M. M. O uso de fibras de celulose provenientes do papel imprensa em compósitos para produção de componentes habitacionais. Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído ENTAC. 2000, Salvador, BA. Anais. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000\\_143.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_143.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2019.

NIBUDEY, R.; NAGARNAIK, P.B.; PARBAT, D.; PANDE, A. M. Strengths Prediction of Plastic fiber Reinforced concrete (M30). International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) ISSN: 2248-9622. 3. 2248-9622. (2013). Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/271528657\\_Strengths\\_Prediction\\_of\\_Plastic\\_fiber\\_Reinforced\\_concrete\\_M30](https://www.researchgate.net/publication/271528657_Strengths_Prediction_of_Plastic_fiber_Reinforced_concrete_M30)>. Acesso em 15 jan. 2022.

OCHI T, OKUBO S, FUKUI K. Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber. Cement and Concrete Composite. 2007; 29:448-455. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp2007.02.002>>. Acesso em 13 mar. 2018

OLIVEIRA, L. A. P. de; CASTRO-GOMES, J. P. Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. Construction and Building Materials 25 (2011) 1712 – 1717. Disponível em: <<https://cmadeubi.files.wordpress.com/2013/06/physical-and-mechanical-behaviour-of-recycled-pet-fibre-reinforced-mortar.pdf>>. Acesso em: 13 Ago. 2018.

OLIVEIRA, Luana Barbosa de. Produção e caracterização de compósito de matriz geopolimérica com adição de resíduo industrial. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7706>>. Acesso em: 26 jan. 2022.

OLONISAKIN, K.; BABATOLA, O.; JULIET, A. Preliminary Investigation of the Suitability of Chasmanthera Dependens (Hosct) and Waste Paper for Production of Cement-Bonded Composite. 2017. Pro Ligno, Volume 13, Number 3. Disponível em: <<https://www.ingentaconnect.com/content/doi/18414737/2017/00000013/00000003/art00005;jsessionid=7dulu9psr4a94.x-ic-live-02>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

ONGPENG, J. M. C., BARRA, J., CARAMPATANA, K., SEBASTIAN, C., YU, J. J., AVISO, K. B., TAN, R. R. Strengthening rectangular columns using recycled PET bottle strips Engineering Science and Technology, an International Journal 11/08/2020 Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.07.006>>. Acesso em: 10 set. 2020.

PACHECO-TORGAL, F., JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibers: A review. Construction and building Materials 2010, doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024 Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/55611507.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

PAIVA, J. M. F., HOSOKAWA, M. N. Avaliação de propriedades de tração e flexão de compósitos de abs reciclado reforçados com tecidos de fibras de Juta. 2021. Ambiente: Gestão

e Desenvolvimento - ISSN 1981-4127 Universidade Estadual de Roraima DOI: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v1i1.942>. Disponível em: <https://periodicos.uerr.edu.br/index.php/ambiente/article/view/942>. Acesso em: 15 dez. 2021.

PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C.; SILVA JÚNIOR, J. A.; FREITAS, D. Uma introdução aos métodos mistos. 2016. <https://doi.org/10.1590/15174522-018004221>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/soc/a/WtDMmCV3jQB8mT6tmpnzKc/?lang=pt>. Acesso em: 09 fev. 2022.

PARCHEN, C. F. A. Compósito madeira cimento de baixa densidade produzido com compactação vibro dinâmica. 172 f.: il.; graf., tab. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2012. Disponível em: <https://acervodigitalufpr.br/bitstream/handle/1884/28935/R%20-%20T%20-%20CARLOS%20FREDERICO%20ALICE%20PARCHEN.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 mar. 2019.

PELISSER, F., MONTEDO, O. R. K., GLEIZE, P. J. P., & ROMAN, H. R. Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete. *Materials Research*, 15(4), (2012). 679–686. Disponível em: [doi:10.1590/s1516-14392012005000088](https://doi.org/10.1590/s1516-14392012005000088). Acesso em: 30 jan. 2022.

PERERA, S.; ARULHAJA, A.; WONG, Y. C.; HORPIBULSUK, S.; MAGHOOL, F. Utilizing recycled PET blends with demolition wastes as construction materials. 2019. *Construction and Building Materials* Volume 221, 10 October 2019, Pages 200-209. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181931462X>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PERERA, S.; ARULHAJA, A.; WONG, Y. C.; HORPIBULSUK, S.; MAGHOOL, F. Evaluation of shear strength properties of unbound PET plastic in blends with demolition wastes. 2020. *Construction and Building Materials* Volume 262, 30 November 2020, 120545. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820325502>. Acesso em: 07 fev. 2022.

PIERRO, B. Inovações induzidas: Guia busca ampliar o uso de legislação sobre encomendas tecnológicas no Brasil. 2019. Pesquisa FAPESP. Ed 279, mai.2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/inovacoes-induzidas/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

POINCARÉ, H. SCIENCE AND HYPOTHESIS London and Newcastle-on-Tyne: THE WALTER SCOTT PUBLISHING CO., LTD NEW YORK: 3 EAST 14TH STREET. 1905. Disponível em: <http://www.gutenberg.org/ebooks/37157>. Acesso em 09 nov. 2020.

POLIGNANO, L. A. C.; DRUMOND, F. B. O PAPEL DA PESQUISA DE MERCADO DURANTE O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS. 2001. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/O-PAPEL-DA-PESQUISA-DE-MERCADO-DURANTE-O-DESENVOLVIMENTO-DE-PRODUTOS>. Acesso em: 05 dez. 2021.

PPRC, Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center. Should We Recycle Thermal Receipts That Contain BPA? 2015. Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center

Practical solutions for economic and environmental vitality. Disponível em: <<https://pprc.org/2015/pprc/should-we-recycle-thermal-receipts-that-contain-bpa/>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

RAMADEVI, K.; MANJU, R. Experimental Investigation on the Properties of Concrete With Plastic PET (Bottle) Fibres as Fine Aggregates. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: [www.ijetae.com](http://www.ijetae.com) (ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 6, June 2012). Disponível em: <<https://www.ijetae.com/Volume2Issue6.html>>. Acesso EM: 30 jan. 2022.

RAO, M.C., BHATTACHARYYA, S.K. AND BARAI, S.V. Behaviour of Recycled Aggregate Concrete under Drop Weight Impact Load. Construction and Building Materials, 25 (2011), 69-80. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.055>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

SMMA. Secretaria Municipal de Meio Ambiente - Resolução SMA No 07. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/2017/01/resolucao-sma-07-2017/>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ROBERT, M. A Estratégia da Inovação do Produto: como o Processo de Inovação pode ajudar a sua Empresa a suplantat suas concorrentes. Rio de Janeiro: Nódica, 1995.

RODRIGUES, F. A. Estudo da influência de diferentes tratamentos (fibra/matriz) nas propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibra de malva. Dissertação de mestrado UFAM. 2015. Disponível em: <<http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5223>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

SAES, D. X. Gestão da inovação e tecnologia/. CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ. Núcleo de Educação a distância: C397. (Maringá/Pr). 2012; 220 p. Disponível em: <<http://espacoinovacao.ccae.ufpb.br/Publica%C3%A7%C3%B5es/Livro%20-%20gest%C3%A3o%20da%20inova%C3%A7%C3%A3o%20tecnol%C3%B3gica%20-%20cesumar.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2022.

SALES, A. T. C. Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu. 273 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, M. R., TEIXEIRA, C. E., KNISS, C. T. Avaliação de Desempenho Ambiental na Valorização de Resíduos Sólidos de Processos Industriais. Revista Adm. UFSM, Santa Maria, v7, Edição Especial, p.75-92. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/12982>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

SAUNDERS, M. N. K., LEWIS, P, THORNHILL, A. Research methods for business students Eighth Edition. | New York: Pearson, [2019] | Revised edition of the authors' Research methods for business students, 2015. LCCN 2018058370| ISBN 9781292208787. ISBN 9781292208800 (pdf) | ISBN 9781292208794 (epub) Subjects: LCSH: Business--Research. | Business--Research--Data processing. Classification: LCC HD30.4 .S28 2019 | DDC 650.072--dc23 Disponível em: <[https://urldefense.proofpoint.com/v2/url?u=https-3A\\_\\_lccn.loc.gov\\_2018058370&d=DwIFAg&c=0YLnzTkWOdJlub\\_y7qAx8Q&r=zKTI3XC-TUJM0AsOJA2Iy8zK9anF7moqCccCkwx1Ygs&m=aFJFa\\_On9Bwi\\_ZE496eRa0RzNQg4o0hbQsJmY60F4S4&s=jnj\\_MFTdyrU7pKlt5](https://urldefense.proofpoint.com/v2/url?u=https-3A__lccn.loc.gov_2018058370&d=DwIFAg&c=0YLnzTkWOdJlub_y7qAx8Q&r=zKTI3XC-TUJM0AsOJA2Iy8zK9anF7moqCccCkwx1Ygs&m=aFJFa_On9Bwi_ZE496eRa0RzNQg4o0hbQsJmY60F4S4&s=jnj_MFTdyrU7pKlt5)>

YX8gCup6Yt YmmqllMUMXs1Og7w&e=>. Acesso em: 09 fev. 2022.

SAVASTANO JR, H., WARDEN, P. G., COUTTUS, R.S.P. Brazilian waste fibers as reinforcement for cement-based composites. *Cement & Concrete Composites*, v22, p397-384. 2000. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.459.778&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SAVASTANO JUNIOR, H. J. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. Livre docência – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000, 152p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-08102007-155734/pt-br.php>>. Acesso em 15 jan. 2019.

SAVASTANO JUNIOR. H., SANTOS, S. Uso de resíduos de fibra vegetal em construção. *REVISTA ELETRÔNICA DE JORNALISMO CIENTÍFICO Com Ciência - SBPC/Labjor* (10/02/2008). Disponível em: <<https://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=32&id=382&print=true>>. Acesso em 04 nov. 2020.

SENHORAS, E. M.; TAKEUCHI, K. P.; TAKEUCHI, K. P. Gestão da Inovação no Desenvolvimento de Novos Produtos. 2007. IV SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Disponível em: <[https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/418\\_artigos2007EGET\\_Inovacao&DesenvolvimentoProdutos2007.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/418_artigos2007EGET_Inovacao&DesenvolvimentoProdutos2007.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2022.

SGRICCIA, N., HAWLEY, M. C., MISRA, M. "Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites: Part A Applied Science and Manufacturing*;" 39: 1632–1637. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.07.007>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

SHAH, S. S. Ali; KHAN, R. Re-Use of Hospital Plastic Waste in Asphalt Mixes as Partial Replacement of Coarse Aggregate. 2016. *Open Journal of Civil Engineering*, 2016, 6, 381-387 Published Online June 2016 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/ojce> <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2016.63032>. Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/journal/paperinformation.aspx?paperid=66895](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/journal/paperinformation.aspx?paperid=66895)>. Acesso em: 21 maio 2019.

SHAHIDAN, S.; A., RANLE N.; S.S., MOHD ZUKII; F., SHEIKH KHALID; M., RIDZUAN; M., NAZRI F. Concrete Incorporated with Optimum Percentages of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Bottle Fiber. 2018. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2018.10.01.001> Received 31 July 2017; accepted 28 December 2017; available online 9 January 2018. Disponível em: <<https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/download/1755/1333/>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SHAIKH, F. U. A.. Tensile and flexural behaviour of recycled polyethylene terephthalate (PET) fibre reinforced geopolymer composites. 2020. *Construction and Building Materials* Volume 245, 10 June 2020, 118438. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820304438>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SHOKRICH, M. M., MACHMOUDI, A., SHADKAM, H.R. Hybrid Polyvinylalcohol and Celulose Fiber Pulp Instead of Asbestos Fibers in Cement-Based Composites. Disponível em: *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 51 Nº 2 Maio 2015. Disponível em: <<https://www.springerprofissionalde/en/hybrid-polyvinyl-alcohol-and-cellulose-fiber-pulp-instead-of-asb/5630594>>. DOI: 10.1007/s11029-015-9494-7>. Acesso em 04 abr. 2019.

SILVA, L. R. C.; CAMPELO, T. S. TENDÊNCIAS ATUAIS SOBRE A INCORPORAÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS EM MATRIZES POLIMÉRICAS: INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS. 2021. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 22(4)*, Julio de 2021. Disponível em: <<https://reviberpol.files.wordpress.com/2021/09/2021-22-4-165-179.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2021.

SILVA, E. J.; VELASCO, F. G.; LUZARDO, F. M.; MARQUES, M. L.; MILIAN, F. M.; RODRIGUES, L. B. Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade. 2018. *REVISTA MATÉRIA*, V.23N.03ISSN 1517-7076 artigo e-12165, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/tV6F9cNyHGkTqb9dBmGwrJt/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

SILVA, A. C., “Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose”. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil/EPUSP. – São Paulo, 2002. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05112002-172710/publico/Aluizio.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05112002-172710/publico/Aluizio.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SILVA, E. J.; SILVA, P. D.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. C. M.; GARCIAS, F. C.; LUZARDO, F. H. M. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.12, p.1268–1273, 2014 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/278391919\\_Resistencia\\_a\\_compressao\\_de\\_argamassas\\_em\\_funcao\\_da\\_adicao\\_de\\_fibra\\_de\\_coco](https://www.researchgate.net/publication/278391919_Resistencia_a_compressao_de_argamassas_em_funcao_da_adicao_de_fibra_de_coco)>. Acesso em: 15 dez. 2018.

SOLEIMANI-DASHTAKI, S., SOLEIMANI, S., WANG, Q., BANTHIA, N., VENTURA, C. E. Effect of high strain-rates on the tensile constitutive response of Ecofriendly Ductile Cementitious Composite (EDCC). PROTECT2017: The 6th International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading. Engineering Procedia. Guangzhou (Canton), China: ELSEVIER (Engineering Procedia). 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817360472>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

SOUST-VERDAGUER, B. et al. BIM-Based LCA Method to Analyze Envelope Alternatives of Single-Family Houses: Case Study in Uruguay. *Journal of Architectural Engineering*, v. 24, n. 3, p. 05018002, set. 2018. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29AE.1943-5568.0000303>>. Acesso em 23 out. 2019.

SOUZA, L. Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. Agência Brasil - São Paulo em 08/11/2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano>>. Acesso em: 06 set. 2020.

SPÓSITO, Felipe A.; HIGUTI, Ricardo T; TASHIMA, Mauro M.; AKASAKI, Jorge L.; MELGES, José Luiz P.; ASSUNÇÃO, Camila C.; BORTOLETTO, Marcelo; SILVA, Rodrigo G.; FIORITI, Cesar F. Incorporation of PET wastes in rendering mortars based on Portland cement/hydrated lime. 2020. Journal of Building Engineering Volume 32, November 2020, 101506. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710220302977>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

STENNER, P.; ROGERS, R. S. Q methodology and qualiquantology: the example of discriminating between emotions. In Z. Todd, B. Nerlich, S. McKeown, & D. D. Clarke (Eds.), *Mixing Methods in Psychology: The Integration of Qualitative and Quantitative Methods in Theory and Practice* (pp. 101-120). Psychology Press. Disponível EM: <<https://research.brighton.ac.uk/en/publications/q-methodology-and-qualiquantology-the-example-of-discriminating-b>> Acesso em: 02 fev. 2022.

STEVULOVA, N.; HOSPODAROVA, V.; VACLAVIK, V.; DVORSKY, T.; DANEK, T. "Characterization of cement composites based on recycled cellulosic waste paper fibres" Open Engineering, vol. 8, no. 1, 2018, pp. 363-367. Disponível em:<<https://doi.org/10.1515/eng-2018-0046>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

TAM, V. W. Y., SOOMRO, M., EVANGELISTA, A. C. J. A Review of Recycled Aggregate 614 in Concrete Applications. Construction and Building Materials 172, p.272-292. 2018. 615 Retrieved from: <<http://iranarze.ir/wp-content/uploads/2018/09/E9401-IranArze.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

TEIXEIRA, M. G. Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira. Salvador, 2005. 159 p. Disponível em: <[https://teclim.ufba.br/site/material\\_online/dissertacoes/dis\\_marcelo\\_g\\_teixeira.pdf](https://teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_marcelo_g_teixeira.pdf)>. Acesso em: 17 mai. 2017.

TEIXEIRA, F. P.; ALFAIA, M. A.; SANTOS, A. J. G.; SOUZA, J. H. S.; SILVA, D. S.; MOUTINHO, D. J. C.; FUJIYAMA, R. T. Avaliação de propriedades mecânicas de compósito cimentício reforçado com fibras de piaçava 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 09 a 13 de Novembro de 2014, Cuiabá, MT, Brasil. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/205-050.pdf>>. Acesso em 10 dez. 2018.

TESSARO, A. B.; GONÇALVES, M. R. F.; GATTO, D. A.; POLLNOW, E. N.; CARREÑO, N. L. V.; DELUCIS, R. de A. Compósitos cimentícios reforçados com fibras de eucalipto puras e tratadas com tetraetilortossilicato (TEOS 98%). Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 47-55, jul./set. 2015. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000300025>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

TETRA PAK, Tetra Pak® Brasil 2020 Disponível em: <<https://www.tetrapak.com/pt-br/about-tetra-pak/the-company/tetra-pak-brasil>>. Acesso em: 25 jun. 2020.

UN ENVIRONMENT – Office for Latin America and the Caribbean - Sub-Regional Office for the Southern Cone and International Environmental Technology Centre (IETC) Brazilian Association of Public Cleansing and Waste Management Companies – ABRELPE. (Org.). Organic Waste Management in Latin America: Challenges and Advantages of the Main

Treatment Options and Trends: Technical report with contributions from the Seminar “Management and utilization of municipal organic waste: the challenges of Latin America”. [s.i], 2017. 30 p. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/a-abrelpe-em-parceria-com-a-onu-meio-ambiente-lancou-uma-publicacao-inedita-com-dados-dos-residuos-solidos-na-america-latina/>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY: TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT A/RES/70/1. Outcome Document for the UN Summit to Adopt the Post-2015 Development Agenda: Draft for Adoption. New York. 2015. Disponível em: <[https://stg-wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11125/unep\\_swio\\_sm1\\_inf7\\_sdg.pdf?sequence=1](https://stg-wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11125/unep_swio_sm1_inf7_sdg.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 17 dez. 2019.

VELHO, S. R. K. et al. Nível de Maturidade Tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias. Parcerias Estratégicas. Brasília-DF, v. 22, n. 45, p. 119-140, jul./dez., 2017. Disponível em: <[http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/867/793](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/867/793)>. Acesso em: 09 fev. 2022.

VIDALES, J. M. M.; HERNÁNDEZ, L. N.; LÓPEZ, J. I. T.; FLORES, E. E. M.; HERNÁNDEZ, L. S.. Polymer mortars prepared using a polymeric resin and particles obtained from waste pet bottle. 2014. Construction and Building Materials Volume 65, 29 August 2014, Pages 376-383. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814004401>. Acesso em: 07 fev. 2022.

WIEMES, L., PAWLOWSKY, U., MYMRIN, V. Incorporação de Resíduos Industriais no Tijolo. 5th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production - Academic Work. 2015. Disponível em: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi2t\\_eKq\\_HsAhUeILkGHUSDC1QQFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.advancesinCLEANERPRODUCTION.NET%2Ffifth%2Ffiles%2Fsessoes%2F5A%2F1%2Fwiemes\\_et\\_al\\_academic.pdf&usq=AOvVaw3n6CiM9dU3aSTzSIKDhAS0](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi2t_eKq_HsAhUeILkGHUSDC1QQFjAAegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.advancesinCLEANERPRODUCTION.NET%2Ffifth%2Ffiles%2Fsessoes%2F5A%2F1%2Fwiemes_et_al_academic.pdf&usq=AOvVaw3n6CiM9dU3aSTzSIKDhAS0). Acesso em: 02 abr. 2019.

WOLFF, E., SCHWABE, W. K., CONCEIÇÃO, S.V., SANTANNA-GRECO, J. A., GRECO, M., MACHADO, R.R. Using mathematical methods for designing optimal mixtures for building bricks prepared by solid industrial waste. Springer-Verlag, June 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1223-y> Acesso em: 31 dez. 2018.

YIN, R. K. Estudo de Caso - Planejamento e Métodos. Tradução de Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Reimpressão, 2003.

YU, J.; YIAO, J.; LIN, X.; LI, H.; LAMB, J. Y. K.; LEUNG, C. K. Y.; SHAM, I. M. L.; SHIH, K. Tensile performance of sustainable Strain-Hardening Cementitious Composites with hybrid PVA and recycled PET fibers. Cement and Concrete Research 107 (2018) 110–123 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.013>. Acesso em: 05 nov. 2020.

## **APÊNDICE 1 – Estudos produzidos em laboratório para embasar o desenvolvimento dos compósitos**

### **a) ESTUDO DE ADIÇÃO DE FIBRAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Na busca por trabalhos que relacionassem, especificamente, os RSU em compósitos cimentícios (argamassas e concreto), não foram encontrados estudos ou pesquisas que tivessem similaridade com os objetivos da pesquisa que aqui se apresentou. As bases acessadas foram *Science Direct*, *Web of Science* e Portal da Capes. No entanto, conforme já citados, foram encontrados estudos sobre o reaproveitamento de resíduos em novos compósitos. Em sua maioria são os oriundos da própria construção civil, e há estudos sobre a fabricação de peças cimentícias como painéis, blocos, revestimentos e telhas com a inclusão de tais resíduos como compósitos para a construção civil (LUCAS et al, 2008; RAO et al, 2011, SANTOS et al, 2014; WIEMES et al, 2015; WOLFF et al, 2016; TAM et al, 2018). Foram citados ainda, o PET (Polietileno tereftalato), o PVC (Policloreto de vinila), o PEAD (Polietileno) e o PP (Polipropileno) (BATAYNEH et al, 2007; MOURA et al, 2015) e o EPS (poliestireno expandido).

Considerando essas afirmações, para essa etapa, os principais materiais com potencial para serem adicionados aos compósitos desta etapa da pesquisa, chamada FASE I do experimento, identificados no descarte do programa “SE-PA-RE” de Curitiba foram: papelão ondulado de embalagens, papelão reciclado de caixas de ovos de polpa moldada, papéis termo sensíveis, EPS, serragem de pinus, PVDC (policloreto de vinilideno) e o PET (politereftalato de etileno).

#### **2. MÉTODOS**

Essa etapa do estudo avaliou o comportamento de compósitos com diferentes proporções de adição de materiais descartados como resíduos secos domésticos e foi identificada como FASE I. Para se chegar aos objetivos propostos nessa etapa, foram considerados 3 grupos de experimentos preliminares para a seleção dos materiais principais, moldagens e testes de corpos de prova (Sp).

Os materiais foram obtidos a partir de visitas programadas à cooperativa de coleta e disposição de resíduos secos domésticos CATAMARE de Curitiba. Foi feita a seleção e a

escolha dos materiais coletados após a gravimetria que caracterizou o tipo de materiais encontrados como descarte na cooperativa. As moldagens e os testes foram realizados no laboratório de Materiais e Estruturas Laboratoriais da Universidade Federal do Paraná (LaME).

Como o tipo de compósito final tem adição de fibras, consideraram-se como base, os requisitos da norma brasileira NBR15498 (ABNT, 2016), para a produção de placas de fibrocimento destinadas à construção de habitações. Normas internacionais foram consultadas, porém, considerando sua similaridade com as normas brasileiras, essas foram escolhidas para conduzir o experimento.

Os compósitos propostos foram avaliados em suas características físicas e mecânicas, NBR13279:05, na determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica na idade de 28 dias, NBR8802:19, na determinação do índice de consistência (estado fresco), NBR13276:16. Absorção de água por capilaridade, NBR9779:12. (ABNT, 2012, 2016, 2019). Por fim, foram preparadas amostras dos corpos de prova do terceiro grupo, para análise de MEV com a finalidade de verificar a distribuição interna dos materiais de composição dos compósitos.

A fibra de celulose foi preparada a partir dos rejeitos de papéis e papelão e foram classificados por tipo de fibra, divididos em dois subgrupos. O primeiro foi o do papelão ondulado de embalagens, cortado com tesoura em pequenos pedaços de cerca de 1cm<sup>2</sup>. Nesse subgrupo também está o papelão reciclado de polpa moldada, utilizado em caixas de ovos, que foram cortados à mão em pedaços regulares de aproximadamente 1cm<sup>2</sup>. Para as moldagens das amostras com fibra de celulose desse subgrupo, os pedaços das caixas de ovos e de papelão comum permaneceram de molho na água da mistura por cerca de 30 minutos (gramatura média de 745 g/m<sup>2</sup>).

O segundo subgrupo foi o do papel termossensível que foi fragmentado em uma máquina Fragmentadora de Papel Secreta 15 C 127v Menno - 3420-727. Os recibos de compras coletados foram picotados em pedaços regulares de 0,3cm x 2,0cm. Devido à sua baixa gramatura média que é de 56 g/m<sup>2</sup> para cupons em geral, o material, após fragmentado não necessitou de molho prévio na água para ser adicionado à mistura do compósito.

A serragem de pinus, embora seja da família das fibras de celulose, não foi classificada junto com os papéis e foi obtida a partir de rejeitos coletados em uma empresa de fabricação de móveis.

Os outros rejeitos selecionados (EPS, PET e PVDC) também passaram por preparação prévia para que pudessem ser utilizados nos compósitos. O EPS foi moído num liquidificador

doméstico para transformar pedaços grandes em grãos pequenos com um diâmetro médio de 0,3 cm. O PET e o PVDC foram fragmentados na mesma máquina em que foi fragmentado o papel termossensível.

Com os materiais preparados, a separação das quantidades foi feita para cada mistura, determinando-se a massa necessária de cada material em uma balança de escala tipo *Centesimal Scale Mark M5202 - 5200g X 0,01g*. Após isso, os materiais foram adicionados ao misturador em cada etapa dessa fase, onde ficaram durante 10 minutos na velocidade baixa do aparelho.

## 2.1 PROCEDIMENTO DE MISTURA E DE MOLDAGEM

A moldagem dos corpos de prova foi feita adaptando-se o que prescreve a norma brasileira, nesse caso, a NBR13279 (ABNT, 2005), para verificar características mecânicas de resistência à tração na flexão e à compressão. Em todos os grupos, o procedimento seguiu a mesma ordem. Com as misturas homogeneizadas, os corpos de prova prismáticos de 4cm x 4cm x 16cm foram moldados, como se mostra na FIGURA 1.

FIGURA 1. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA EM FORMAS DE 4 cm x 4 cm x 16 cm.



FONTE: A autora (2022)

## 2.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO

Os ensaios de resistência à tração à flexão e resistência à compressão de todos os corpos de prova dessa etapa (FASE I) foram realizados em duas etapas, após catorze e vinte e oito dias da moldagem. Após a desmoldagem, os corpos de prova foram submetidos à secagem em câmara seca, com temperatura constante, controlada a 23°C e 50% de umidade.

A FIGURA 2 ilustra os ensaios de resistência à tração da flexão e à compressão em que foram submetidos aos esforços na prensa EMIC, modelo DL- 10000, de capacidade

máxima de 100 kN.

FIGURA 2. PRENSA EMIC, MODELO DL- 10000, DE CAPACIDADE MÁXIMA DE 100 KN.



FONTE: A autora (2022)

Os corpos de prova foram ensaiados à resistência à tração na flexão como pode ser visto na FIGURA 3a e em seguida, à resistência à compressão utilizando as duas metades como corpos de prova, conforme se pode observar na FIGURA 3b.

FIGURA 3. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA FLEXÃO E À COMPRESSÃO.



(3a)

(3b)

FONTE: A autora (2022)

Os resultados dos testes laboratoriais foram organizados em tabelas e gráficos considerando a tensão de ruptura, tanto para tração na flexão como para compressão, em Megapascals (MPa).

### 2.3 TESTE DE ULTRASSOM

Os testes de ultrassom foram realizados aos 28 dias para todos os corpos de prova para verificar a velocidade da onda ultrassônica dos compósitos. Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Pulse Velocity - Pundit LabPL-200, da Proceq, com a disposição direta entre os transdutores, com frequência do transdutor de 54 kHz e propagação de onda a cada 9,3  $\mu$ s. A tensão de excitação foi de 500V, com ganho do receptor de 1000x. Para melhorar o contato entre os transdutores nas faces dos espécimes utilizou-se um gel de acoplamento. O posicionamento dos transdutores no corpo de prova e o aparelho podem ser visualizados na FIGURA 4. Com esses resultados, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico dos compósitos.

FIGURA 4. VERIFICAÇÃO DA ONDA SÔNICA.



FONTE: A autora (2022)

### 2.4 ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Os testes de absorção de água por capilaridade foram realizados com adaptações à NBR9779 (ABNT, 2012). No experimento deste estudo, não foram utilizados dessecador e estufa, e as amostras foram posicionadas em um recipiente de água sem tampa, conforme demonstrado na FIGURA 5.

FIGURA 5. CORPOS DE PROVA POSICIONADOS PARA TESTE DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE.



FONTE: A autora (2022)

Além disso, as massas das amostras foram determinadas após 30 minutos e 1, 2, 3, 6, 24, 36, 48 e 72 horas contadas a partir da sua colocação em contato com a água. Portanto, as amostras, já identificadas, permaneceram posicionadas no recipiente com água na altura de cinco milímetros da face lateral

Após o tempo determinado em cada leitura, as amostras foram removidas da água do recipiente, secas com um pano seco e limpo, verificaram-se suas massas numa balança de escala tipo Centesimal Scale Mark M5202 - 5200g X 0,01g e foram realocados no recipiente de água onde permaneceram até o momento em que o procedimento deveria ser repetido. Esse processo se repetiu nos intervalos já descritos até completarem-se 72 horas desde o posicionamento das amostras no recipiente de água.

A NBR9779 (ABNT, 2012), define a absorção de água por capilaridade pela divisão do valor do aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do espécime em contato com a água e deve ser expressa em  $\text{g}/\text{cm}^2$ . A equação para o cálculo da absorção de água por capilaridade é definida por:

$$C = \frac{(A - B)}{S}$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, expressa em  $\text{g}/\text{cm}^2$

A = massa do espécime que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período especificado, expresso em gramas (g)

B = massa do espécime seco, assim que este atingir a temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , expresso em gramas (g)

S = área da seção transversal, expressa em  $\text{cm}^2$

Após a verificação das massas depois de 72 horas de imersão parcial, as amostras foram rompidas na prensa EMIC, já identificada, na direção transversal média, para a visualização do avanço da faixa úmida dentro da amostra. Assim, feita a ruptura, as bandas úmidas foram medidas nas faces internas das amostras usando um paquímetro digital como foi representado na FIGURA 6.

As medidas foram tomadas utilizando-se um paquímetro digital de 150mm, leitura de 0,1mm de aço, nas extremidades e no centro das seções transversais de cada metade dos corpos de prova para analisar a absorção de água no seu interior. Por fim, os resultados obtidos nos testes foram analisados para avaliar as características de absorção por capilaridade dos novos compósitos propostos para uso na construção civil.

FIGURA 6. VERIFICAÇÃO DA ASCENSÃO CAPILAR DA ÁGUA NO INTERIOR DO ESPÉCIME



FONTE: A autora (2022)

Depois da análise dos resultados dos testes dos três grupos, considerando a relevância dos resultados de resistência à tensão de ruptura de tração na flexão dos compósitos, foi feita a primeira seleção dos principais materiais com potencial para a produção de placas de fibrocimento, conforme determina a norma brasileira.

## 2.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos testes foram tratados no software *Excel, Microsoft Office 365* e foram gerados gráficos para efeito de comparação entre os resultados, para cada grupo e no final, em conjunto, para os três grupos.

Para melhor clareza quanto aos procedimentos adotados, faz-se necessário explicar o método grupo a grupo. Embora o procedimento tenha sido semelhante para cada grupo, os materiais foram sendo escolhidos e preparados para que se pudessem extrair informações relacionadas às dificuldades e facilidades de manuseio e preparo de cada material. Foi uma

etapa de reconhecimento, visto que, sem parâmetros anteriores para tal experimento, todo o procedimento foi considerado inédito e, até certo ponto, empírico.

Dentro dessa proposta, a fim de identificar com maior clareza a distribuição interna dos materiais, verificar o mecanismo de fratura e onde se encontravam o maior número de falhas e pontos fracos das misturas, foi realizada a análise de MEV – microscopia eletrônica de varredura dos compósitos do GRUPO 3.

Somente as amostras dos corpos de prova de 1 a 5 tiveram imagens produzidas pela MEV. Devido a uma dificuldade técnica que ocorreu no laboratório, as imagens dos corpos de prova 6 e 7 foram perdidas. De fato, a perda dessas imagens não comprometeu a análise, pois os materiais relacionados a esses corpos de prova foram descartados desse estudo, na forma como foram apresentados.

As escalas aumentadas das imagens foram de 35, 150, 500 e 2000 vezes. Os testes de MEV foram realizados nos laboratórios da UFPR, utilizando o Microscópio eletrônico de varredura – Marca TESCAN, modelo LMU – Vega 3.

O método de trabalho para o GRUPO 1 foi definido considerando que os corpos de prova seriam moldados a partir de uma composição de referência padrão de cimento e areia na proporção de 1:3 e relação água/cimento de 0,5. Nas misturas com polpa moldada de caixas de ovos e com serragem de pinus, foi feita uma adaptação do estudo de Garcez et al (2016).

Após a preparação dos materiais de serragem, de fibras de celulose de caixas de ovos e de EPS, foram moldados os corpos de prova do grupo 1 seguindo às proporções expostas na TABELA 3.

TABELA 3. IDENTIFICAÇÃO E TRAÇOS DOS COMPÓSITOS DO GRUPO 1.

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	
Espécime	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x16) cm <sup>3</sup>
Sp1	1:0,28 0,006:0,5 cimento: serragem de pinus: plastificante: água
Sp2	1:2,8:0,03:0,5 Cimento: areia: EPS: água
Sp3a	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água
Sp3b	1:0,04:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água
Sp4	1:3:0,5 Cimento: areia: água

FONTE: A autora (2022)

Nessa proposta, todo o percentual de areia foi substituído pelo material de adição. Considerou-se plausível trocar o volume de areia, que é material de extração mineral, por fibras de papelão reciclado ou serragem, obtidos a partir de materiais descartados e de custo financeiro menor. Além disso, não foi feito nenhum tratamento prévio da serragem para a retirada de substâncias, tais como a lignina. Já as composições com EPS por sua vez, tiveram a areia na mistura, pois foi utilizado como base, o trabalho de Strecker (2014).

O GRUPO 2 teve como base os resultados encontrados no GRUPO 1. Enfatizando que FASE I foi uma etapa preliminar da pesquisa para que se levantassem condições de se desenvolver uma mistura com potencial possibilidade de produzir placas de fibrocimento.

Para explorar as possibilidades de materiais disponíveis, bem como dos tipos de misturas prováveis, para a preparação dos compósitos do grupo 2, foram levados em conta o comportamento individual de cada compósito nos testes frente às recomendações da norma brasileira e, também, a disponibilidade do material de adição e o interesse econômico social da comunidade dos catadores da cooperativa.

Outro ponto considerado, foi a possibilidade de se variarem as proporções dentro de uma mesma família de resíduos (fibras vegetais e EPS) para entender o comportamento das misturas propostas quando preparadas com o uso do cimento Portland.

Mais uma vez, foram moldados corpos de prova considerando o padrão estabelecido no GRUPO 1 (cimento e areia na proporção de 1:3 e relação água/cimento de 0,5), identificado por Sp7. Porém sem moldagem adicional para esse grupo. No entanto, o compósito com a adição de EPS teve a sua composição ajustada na proporção de areia, passando de 2,8 para 3, com a finalidade de padronizar as quantidades de areia à mistura. Esse compósito teve repetições nos grupos devido ao interesse em utilizar esse material que é abundante no âmbito dos rejeitos urbanos.

Nessa etapa, foram consideradas a quantidade de material a ser coletado e sua granulometria antes da moldagem dos corpos de prova dos compósitos.

Os compósitos propostos nesse grupo foram, em sua maioria, misturas com adição de fibras de celulose originadas a partir do papelão de diferentes tipos de caixas de ovos coletados e que são, comumente, encontrados no mercado. Os corpos de prova estão identificados conforme o que se apresenta na TABELA 4.

TABELA 4. IDENTIFICAÇÃO E TRAÇOS DOS COMPÓSITOS DO GRUPO 2.

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	
Espécime	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm <sup>3</sup>
Sp1	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água – grão pequeno
Sp2	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo (1 dúzia): água
Sp3	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo (2 ½ dúzia): água
Sp4	1:0,06:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovos (1 dúzia): água
Sp5	1:0,07:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovos (1 dúzia): água
Sp6	1:0,08:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovos (1 dúzia): água
Sp7	1:03:0,5 Cimento: areia: água
Sp8	1:3:0,03:0,5 Cimento: areia: EPS: água
Sp9	1:0,1:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovos (1 dúzia): água

FONTE: A autora (2022)

Após as análises dos compósitos do GRUPO 2, e com base nos resultados encontrados nessa nova rodada de testes, foram propostas novas misturas para o GRUPO 3. Enquanto os experimentos do grupo 1 e 2 eram executados, ainda aconteciam visitas regulares à cooperativa de coleta para identificar e caracterizar o tipo de resíduo descartado na cidade de Curitiba. Por isso, além de serem considerados os resultados obtidos nos dois grupos anteriores, foram introduzidos quatro novos materiais coletados e classificados a partir de uma das visitas de caracterização de resíduos na cooperativa CATAMARE. São eles, o papelão comum de embalagens em geral, o PTS (papel termossensível), o PVDC (policloreto de vinilideno) e o PET (politereftalato de etileno).

O PTS, o PET e o PVDC foram preparados na mesma máquina fragmentadora de papel utilizada nos materiais do grupo 1. Esses novos materiais, apesar de não terem sido selecionados para os dois primeiros grupos de testes, tais opções se tornaram válidas a partir da quantidade encontrada nas coletas subsequentes às primeiras visitas à cooperativa de coleta e separação de resíduos secos domésticos. Após uma reflexão sobre o papel termossensível e considerando a quantidade gerada, tipo de descarte e o seu valor comercial após o descarte, ele foi adicionado ao rol de materiais escolhidos. Uma característica adicional também foi

importante nessa escolha, o tipo de tratamento superficial, o bisfenol, substância tóxica que, eventualmente poderia ser neutralizada, considerando uma possível situação de encapsulamento do material, pela sua adição ao novo compósito.

Os compósitos do GRUPO 3 estão relacionados e identificados na TABELA 5. O Sp8, nesse grupo se refere ao compósito padrão, que da mesma maneira que para o grupo anterior, foi considerado o resultado do GRUPO 1, sem moldagem adicional para esse grupo.

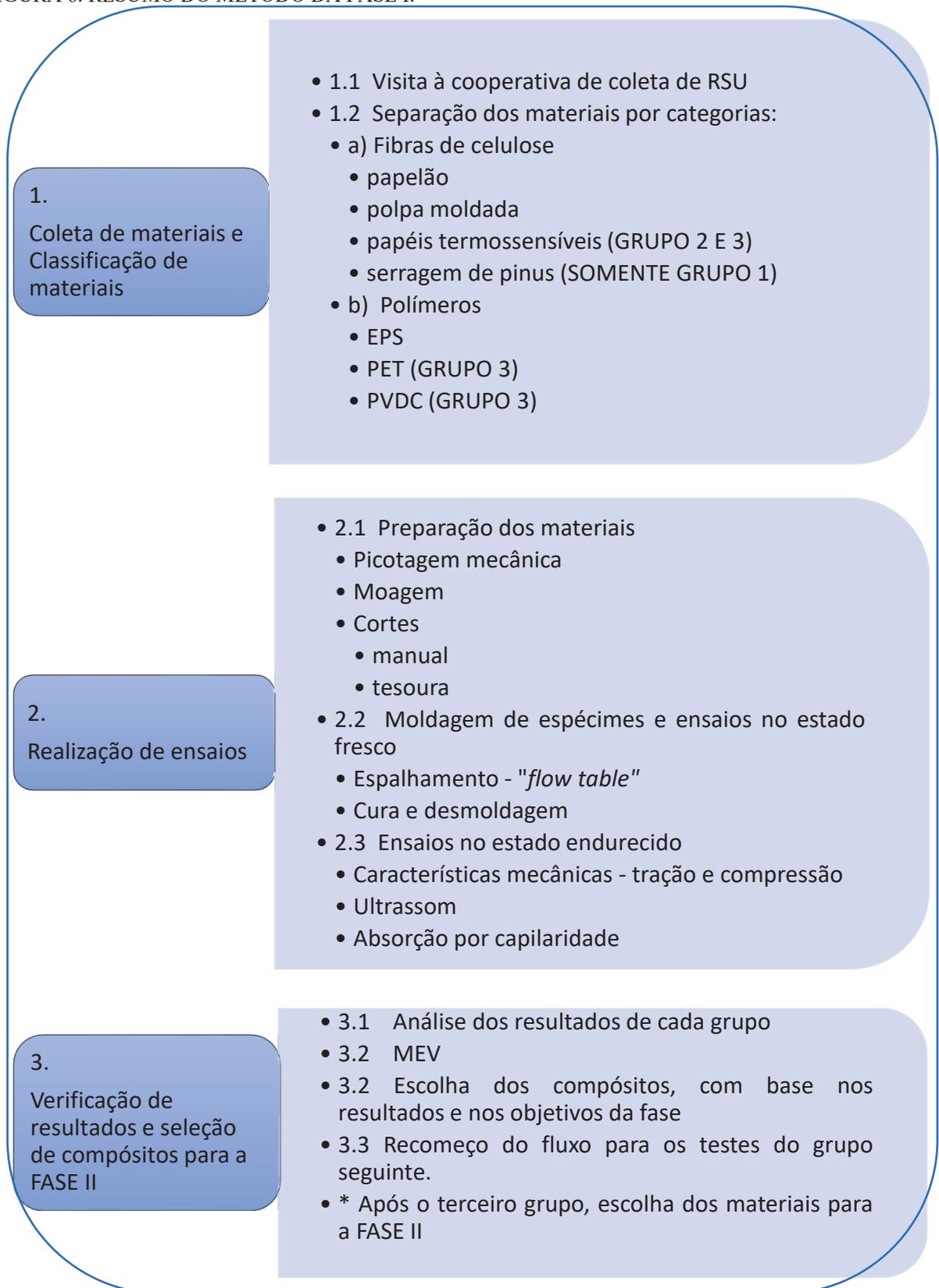
TABELA 5. IDENTIFICAÇÃO E TRAÇOS DOS COMPÓSITOS DO GRUPO 3.

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	
Espécime	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x16) cm <sup>3</sup>
Sp1	1:0,08:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água
Sp 2	1:0,08:0,5 Cimento: papelão comum: água
Sp 3	1:0,08:0,5 Cimento: papel termossensível: água
Sp 4	1:3:0,03:0,5 Cimento: areia: EPS: água
Sp 5	1:1,193:0,0143:0,5 Cimento: areia: EPS: água
Sp 6	1:4,64:0,013:0,5 Cimento: areia: PVDC: água
Sp 7	1:3:0,31:0,5 Cimento: areia: PET: água
Sp 8	1:3:0,5 Cimento: areia: água

FONTE: A autora (2022)

A FIGURA 6 ilustra um resumo do método de pesquisa da FASE I.

FIGURA 6. RESUMO DO MÉTODO DA FASE I:



FONTE: A autora (2022)

### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1 Cimento Portland

O cimento utilizado neste estudo foi do tipo Portland CP II – Z – 32 que tem baixo teor de adição, com pozolana na composição e massa específica de  $2,95\text{g/cm}^3$ , conforme a NBR16697 (ABNT,2018).

#### 3.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo empregado foi uma areia fina natural comprada em loja de materiais de construção, ensacada (20kg). Não foram exploradas as características físicas principais do material tais como: massa específica, massa unitária, teor de material pulverulento, módulo de finura e curva granulométrica por se tratar de proposta preliminar de exploração.

#### 3.3 Fibras vegetais

Os tipos de rejeitos para a utilização de fibras vegetais coletados na CATAMARE foram papéis e papelões.

##### 3.3.1 Papéis termossensíveis

Embora o manuseio de recibos de papel termossensível possa contribuir para a transferência de BPA (bisfenol-A) pela pele (GEENS et al, 2012), as concentrações identificadas no organismo de pessoas expostas a esse tipo de contato, estavam em níveis menores que aqueles que ocasionariam preocupações à saúde (PORRAS; HEINÄLÄ; SANTONEN, 2014; BIEDERMANN; TSCHUDIN; GROB, 2010).

Na opinião de Klein (2017) e Vilhena (2015), o papel termossensível ou térmico (PTS), é reciclado em algumas cidades, mas o bisfenol pode ser liberado nesse processo e acabar contaminando outros materiais ou o papel final reciclado. Segundo seu estudo, Klein (2017) afirma que uma saída seria a compostagem, apesar de ainda não haver consenso quanto a essa solução também. Alguns pesquisadores afirmam que a meia vida do bisfenol-A seria de 3 a 5 dias no solo. Isso significa dizer que há uma degradação de 50% do bisfenol nesse intervalo de tempo e a cada dia se reduz mais 50%, mas nunca chegaria a zero. Aqueles cupons e recibos impressos em papel branco são totalmente recicláveis e sem contaminantes. Assim,

considerou-se que haveria a possibilidade de degradação do bisfenol no meio alcalino da mistura dos compósitos.

A FIGURA 7 mostra o papel termossensível (branco e amarelo) conforme foi encontrado na cooperativa e, também, após o processo de picotagem para ser adicionado à matriz cimentícia.

FIGURA 7. PAPEL TERMOSENSÍVEL



FONTE: A autora (2022)

Dessa forma, por ser um entrave para a reciclagem, o grande volume gerado e a expectativa de crescimento motivam a busca por opções de minimização ou de inserção desse resíduo em cadeias produtivas alternativas. Além disso, o uso desses rejeitos no desenvolvimento de materiais de construção alternativos pode possibilitar a obtenção de benefícios econômicos e ambientais devido ao seu grande potencial de aplicação como agregado ou suplemento (PAPPU; SAXENA; ASOLEKAR, 2007).

### 3.3.2 Papelão reciclado de caixas de ovos do tipo polpa moldada

A polpa moldada é fabricada a partir do reaproveitamento de aparas de papel e papelão. A produção do papelão de polpa moldada é em série, com grandes volumes. A FIGURA 8 apresenta a polpa moldada em forma de embalagens de ovos e depois de picotada.

FIGURA 8. CAIXAS DE OVOS DE POLPA MOLDADA



FONTE: A autora (2022)

Esse tipo de material é usado para calços industriais e preenchimentos de produtos variados, tais como, móveis, brinquedos, eletroeletrônica, porcelana, vidros, embalagens e outros tipos de aplicações com necessidade de proteção para a distribuição do produto a ser embalado. São peças de fácil armazenamento por sobreposição e, geralmente, podem ser customizadas, considerando projetos especiais de embalagens.

### 3.3.3 Papelão ondulado de embalagens

Segundo a ABPO (Associação Brasileira do Papelão Ondulado), o papelão ondulado é um material reciclável e produzido a partir de FONTES de matérias-primas renováveis, portanto, com 100% de aproveitamento para reciclagem, sendo, segundo a associação, amigo da natureza apresentando características de sustentabilidade de ponta a ponta.

O papelão ondulado apresentado na FIGURA 9 é denominado de acordo com o tipo de estrutura como face simples, parede simples, parede dupla, parede tripla ou parede múltipla. No caso deste estudo, o papelão ondulado utilizado foi o de parede simples, estrutura formada por um elemento ondulado (miolo) colado, em ambos os lados, a elementos planos (capas).

FIGURA 9. PAPELÃO DE EMBALAGENS EM GERAL



FONTE: A autora (2022)

Devido às características e facilidades de fabricação, o papelão ondulado se torna o material mais utilizado para a fabricação de embalagens, e, de acordo com a ABPO, é utilizado para o transporte e proteção de aproximadamente 75% dos produtos embalados no mundo todo.

### 3.4 EPS – Poliestireno Expandido

O Poliestireno Expandido, também conhecido pela sigla internacional EPS, segundo a Associação Brasileira da Indústria Química, ABIQUIM (2019), o EPS é um plástico celular

rígido que resulta da polimerização do estireno na água. Dessa reação química em que se formam macromoléculas ou polímeros, obtém-se pérolas de até 3 milímetros de diâmetro. Essas pérolas se expandem e aumentam em até 50 vezes o seu tamanho original. A expansão se dá por meio de vapor de modo que as pérolas vão fundindo-se e moldando-se em diversas formas. Após a expansão, o volume das pérolas é composto por até 98% de ar e somente 2% de poliestireno, tendo a possibilidade de se contarem em 1m<sup>3</sup> de EPS, de 3 a 6 bilhões de células fechadas e repletas de ar.

Para se produzir o EPS não se utiliza o gás CFC (clorofluorcarboneto), nocivo à camada de ozônio e nem outros tipos de halogênios ligados à cadeia carbônica. Assim, o EPS é considerado como uma substância inerte, ou seja, não contamina o solo, água e ar. Como já mencionado, é 100% reaproveitável e reciclável. Como não degrada o material pode, inclusive, voltar a ser matéria-prima.

Nas visitas à cooperativa de coleta de RSU, o EPS encontrado foi de embalagens e calços, conforme demonstrado da FIGURA 10.

FIGURA 10. EPS COLETADO NA COOPERATIVA E APÓS MOAGEM.



FONTE: A autora (2022)

### 3.5 Serragem

A FIGURA 11 apresenta o material coletado em uma empresa de fabricação de móveis, a serragem. Esse material é um resíduo gerado a partir do corte das madeiras e é encontrado na maioria das indústrias de madeira, gerado, principalmente, pelo processo de usinagem com serras.

FIGURA 11 – SERRAGEM DE PINUS



FONTE: A autora (2022)

### 3.6 Plásticos PVDC

O PVDC é um copolímero que se parece com o PVC, com função de película final de vedação para diferentes tipos de embalagens. É um material caro, por isso é utilizado como uma película bem fina em conjunto com outros materiais mais baratos, como PET, BOPP ou papel. Também é conhecido por Saran.

Para embalagens de alimentos, é flexível, para os medicamentos, aparece como “blisters”. O material apresenta vantagens tais como, melhor barragem de gases, vapores, aromas e gorduras, baixo peso da embalagem, aumento da vida útil de alimentos, embalagem mais translúcida. Mas tem como desvantagem o ciclo do produto, conforme se pode observar na FIGURA 12.

FIGURA 12 – PLÁSTICOS ENCONTRADOS NA COLETA SELETIVA DE RSU



FONTE: A autora (2022)

A Associação Brasileira da Indústria do Plástico (Abiplast) lançou uma cartilha sobre a reciclabilidade de materiais plásticos pós consumo. Embalagens contendo PVDC de alimentos, bebidas, fármacos e higiene pessoal têm um baixo potencial de reciclabilidade, estando na pior colocação na categoria “parcialmente viável”. O PVDC não é um exemplo de material fácil de ser reciclado. Portanto, esse material acaba por ser descartado em aterros, sem nenhum reaproveitamento, precisa de soluções alternativas e de baixo custo para reaproveitá-lo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item foram apresentados os resultados de cada grupo separadamente e, no final, em conjunto para efeito de comparação.

Os compósitos foram identificados e, os resultados, dispostos em tabelas que contém os dados dos testes/ensaios, bem como as datas em que foram realizados. Foram identificados e descritos os 3 grupos de compósitos propostos com os respectivos materiais retirados do descarte do programa “SE-PA-RE” de Curitiba. Desses, foram escolhidos os materiais e os traços considerados adequados para a fase II da tese.

Os materiais utilizados foram: papéis e papelão, EPS, serragem de pinus, PET, plásticos. Esses materiais foram considerados como “adição” à matriz cimentícia. No caso das fibras de celulose foi eliminado completamente o uso da areia e, no caso de EPS, foi mantida a proporção de areia na mistura.

Os resultados foram organizados por tipo de teste realizado. Primeiramente os testes físicos organizados em espalhamento/consistência (*Flow table*), resistência à tração na flexão, resistência à compressão, ultrassom, absorção por capilaridade e MEV num item em separado (para as amostras selecionadas).

Foram preparadas tabelas de cada grupo com sua respectiva análise. No caso da MEV, foram apresentadas as fotos e as espectrometria e logo após, os comentários. Gráficos e informações adicionais foram organizados no Apêndice I.

### 4.1 GRUPO 1

Os resultados dos ensaios do GRUPO 1 estão relacionados na TABELA 6 e TABELA 7.

TABELA 6. RESULTADOS DO GRUPO 1 (TESTES NO ESTADO FRESCO E AOS 14 DIAS).

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS			ENSAIO/RESULTADO				
DATA	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm <sup>3</sup>	<i>FLOW TABLE</i>	COMPRESSÃO		TRAÇÃO NA FLEXÃO		
06/04/2018		Diâmetro médio (cm)	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Força máxima (N)	Res. à tração na flexão (MPa)	
20/04/2018 – 14 dias	Sp1 1:0,28:0,006:0,6 cimento: serragem de pinus: plastificante: água	35	1342	0,84	138	0,32	
	Sp2 1:2,8:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	23	28152	17,60	2043	4,79	
	Sp3a 1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	16	9189	5,75	811	1,90	
	Sp3b 1:0,04:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	25	54280	33,93	2163	5,07	
	Sp4 1:3:0,5 Cimento: areia: água	23	20537	12,84	1831	4,29	

FONTE: A autora (2022)

TABELA 7. RESULTADOS DO GRUPO 1 (TESTES AOS 28 DIAS).

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS			ENSAIO/RESULTADO					
DATA	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM	ABSORÇÃO POR CAPILARI//	COMPRESSÃO		TRAÇÃO NA FLEXÃO		
06/04/2018			g/cm <sup>2</sup>	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Força máxim a (N)	Res. à tração na flexão (MPa)	
04/05/2018 – 28 dias	Sp1 1:0,28:0,006:0,6 cimento: serragem de pinus: plastificante: água	344 μs	SAT	930	0,58	113	0,26	
	Sp2 1:2,8:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	465 m/s	SAT	10205	6,38	814	1,91	
	Sp3a 1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	55,4 μs	2,38	30943	19,34	2764	6,48	
	Sp3b 1:0,04:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	2888 m/s	2,40	27745	17,34	2568	6,02	
	Sp4 1:3:0,5 Cimento: areia: água	51,9 μs	1,00	57189	35,74	3202	7,50	
		3083 m/s	4124 m/s					

FONTE: A autora (2022)

- a. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** Nos testes de tração à flexão, a redução da resistência mecânica dos corpos de prova com adição de fibras em comparação com o Sp4 (padrão) indicou que a adição de fibras de celulose, excluindo totalmente a areia não levou ao resultado esperado de melhoria. Os corpos de prova com adição de 4% e 5% de

fibras de caixas de ovos apresentaram resultados aos 28 dias de cerca de 80% e 86%, respectivamente, dos valores de referência adotados neste grupo, definidos pelo espécime padrão, Sp4.

Os resultados menores levaram à indicação de que a substituição parcial de areia deveria ser considerada nos novos testes para melhorar o resultado do novo compósito. Observou-se também, que a substituição parcial da areia ao invés de substituição total poderia ser uma solução mais viável para o uso de rejeitos, nesse caso, as fibras de celulose.

Além dos resultados menores em relação ao espécime padrão, houve uma diminuição desses valores entre os corpos de prova, identificados por Sp1 (pinus) e Sp2 (EPS) relacionados à idade. Nos dois casos, os corpos de prova tiveram resultados menores aos 28 dias do que aos 14 dias quando comparadas suas próprias tensões de ruptura.

Os corpos de prova com incorporação de fibras de celulose de polpa moldada apresentaram resistência à compressão entre 48% e 54% do valor padrão neste grupo (padrão Sp4, composto por cimento, areia e água).

Aqui também foi notável o mesmo comportamento dos corpos de prova com pinus e com EPS, repetindo o que aconteceu quanto à tensão de ruptura à tração na flexão, os corpos de prova tiveram resultados menores aos 28 dias do que aos 14 dias quando comparadas suas próprias tensões de ruptura.

À exceção das misturas de serragem e de EPS, que foram preparadas com a substituição parcial da areia, outro ponto considerado foi a diferença volumétrica final de massa dos compósitos. Sendo suprimida a quantidade de areia e a quantidade de material reciclado adicionadas não tendo correspondência ao que foi substituído, os volumes finais ficaram comprometidos, bem como o comportamento do novo material

- b. **CONSISTÊNCIA:** o comportamento do Sp3a (caixa de ovo 5%) no teste de consistência ficou com um valor 7cm menor que o Sp4, significando que o compósito é mais consistente e menos fluido que o padrão. O Sp3b, apesar de ter o mesmo material de adição do SP3a, pela diferença de 10g a menos, já teve um comportamento mais fluido e o espalhamento foi de 25cm. Por outro lado, o Sp2 teve medidas de abertura idênticas às do padrão apresentando características de consistência semelhantes. O Sp1 teve um comportamento bem diferente do padrão, com índice de 35 cm, embora fosse mais seca, o espalhamento da mistura se deu por desmoronamento das partículas. O ensaio foi realizado seguindo as recomendações da NBR13276 (ABNT, 2016).

- c. **ULTRASSOM:** os resultados dos testes de ultrassom aos 28 dias demonstram que a velocidade da onda ultrassônica Sp4 (padrão) foi a mais alta, seguida por Sp3b, Sp3a e Sp2 e Sp1. É possível perceber que, à medida em que se adicionam os materiais de adição de resíduos, diminuem os valores da velocidade da onda ultrassônica. No caso da serragem, esse efeito fica mais evidente.
- d. **ABSORÇÃO CAPILAR:** as amostras com adição de fibra de celulose apresentaram comportamento semelhante ao final das 72 horas de imersão parcial, em termos de aumento de massa, nos testes de absorção capilar, após posicionados na cuba. No entanto, os corpos de prova com adição de serragem de pinus e de EPS ficaram saturados e foram desconsiderados no teste, como recomenda a norma brasileira, conforme pode ser observado na FIGURA 13a. No caso do pinus, ainda houve expansão do material com abertura de fissuras. Esse comportamento pode ser observado na FIGURA 13b.

FIGURA 13 – CORPOS DE PROVA COM SATURAÇÃO HÍDRICA E EXPANSÃO



(a)

(b)

FONTE: A autora (2022)

Observou-se que o Sp4, espécime padrão, composto de cimento e areia, apresentou menor índice de absorção de água por capilaridade ( $1,00\text{g}/\text{cm}^2$ ), enquanto compostos de caixas de ovos, Sp3a e Sp3b obtiveram resultados maiores com  $2,38\text{g}/\text{cm}^2$  e  $2,40\text{g}/\text{cm}^2$ , respectivamente, mas estatisticamente, idênticas.

## 4.2 GRUPO 2

A apresentação dos resultados dos testes laboratoriais do GRUPO 2 foi organizada na TABELA 8 e na TABELA 9.

TABELA 8. RESULTADOS DO GRUPO 2 (TESTES NO ESTADO FRESCO E AOS 14 DIAS).

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO				
DATA	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x16) cm <sup>3</sup>	<i>FLOW TABLE</i>	COMPRESSÃO		TRAÇÃO NA FLEXÃO	
11/05/2018		Diâmetro médio (cm)	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Força máxima (N)	Res. à tração na flexão (MPa)
25/05/2018 – 14 dias	Sp1 1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água – grão pequeno	21	32007	20,01	2417	5,66
	Sp2 1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo (1 dúzia): água	20	38866	24,29	2462	5,77
	Sp3 1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo (2 ½ dúzia): água	21	34404	21,51	2314	5,42
	Sp4 1:0,06:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	20	34656	21,66	2465	5,78
	Sp5 1:0,07:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	19	19653	12,19	1728	4,05
	Sp6 1:0,08:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	19	36166	22,61	2327	5,45
	<b>Sp7 1:3:0,5</b>	<b>23</b>	<b>20537</b>	<b>12,84</b>	<b>1831</b>	<b>4,29</b>
	<b>REF Cimento: areia: água</b>					
	Sp8 1:3:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	22	7329	4,58	959	2,25
Sp9 1:0,1:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	17	8273	5,17	1136	2,66	

FONTE: A autora (2022)

TABELA 9. IDENTIFICAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO GRUPO 2 (TESTES AOS 28 DIAS).

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS			ENSAIO/RESULTADO					
DATA	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x16) cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM	ABSORÇÃO POR CAPILARI//  g/cm <sup>2</sup>	COMPRESSÃO		TRAÇÃO NA FLEXÃO		
11/05/2018				Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Força máxima (N)	Res. à tração na flexão (MPa)	
08/06/2018 – 28 dias	Sp1	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água – grão pequeno	56,3 μs 2842 m/s	1,18	43103	26,94	2204	5,17
	Sp2	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo (1 dúzia): água	54,4 μs 2941 m/s	1,29	47624	29,77	1969	4,62
	Sp3	1:0,05:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo (1 ½ dúzia): água	53,8 μs 2974 m/s	1,42	41614	26,01	2478	5,81
	Sp4	1:0,06:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	56,5 μs 2832 m/s	1,47	39767	24,86	2851	6,68
	Sp5	1:0,7:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	57,2 μs 2797 m/s	2,00	23405	14,63	1657	3,88
	Sp6	1:0,08:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	60,7 μs 2636 m/s	1,98	47637	29,78	2771	6,49
	<b>Sp7</b>	<b>1:3:0,5</b>	<b>38,8 μs</b>	<b>1,00</b>	<b>57189</b>	<b>35,74</b>	<b>3202</b>	<b>7,50</b>
	<b>REF</b>	<b>Cimento: areia: água</b>	<b>4124 m/s</b>					
	Sp8	1:3:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	61,6 μs 2597 m/s	SAT	8319	5,20	714	1,67
	Sp9	1:0,1:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	149,7 μs 1069 m/s	SAT	9888	6,18	1233	2,89

FONTE: A autora (2022)

a. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** Nos testes de tração à flexão, o mesmo comportamento do GRUPO 1 se repetiu para alguns corpos de prova. Houve redução da resistência mecânica dos corpos de prova Sp1, Sp2 e Sp5 com adição de fibras e Sp8 com adição de EPS em comparação com o Sp7 (padrão) e entre os próprios corpos de prova. Os corpos de prova Sp3, Sp4, Sp6 e Sp9 apresentaram comportamento esperado com o crescimento da resistência mecânica com o passar do tempo. Os corpos de prova com adição de 5%, 6% e 8% de fibras de caixas de ovos apresentaram resultados aos 28 dias que mais se aproximaram do padrão, chegando a 89% do valor de referência adotados neste grupo, definidos pelo espécime padrão, Sp7. Já o Sp9, com 10% de adição de material celulósico, ficou com o menor resultado entre todos, tanto aos 14 dias de idade,

quanto aos 28 dias.

Mais uma vez, os resultados apontam para um comportamento que, embora próximos do padrão, ainda são menores e levaram a considerar que a substituição parcial da areia ao invés de substituição total poderia ser uma solução mais viável para o uso dos rejeitos em foco neste estudo. A atenção quanto aos corpos de prova que tiveram valores menores aos 28 dias do que aos 14 dias quando comparadas suas próprias tensões de ruptura foi redobrada.

Ainda, excetuando-se a mistura com adição de EPS notou-se que a diferença volumétrica final de massa dos compósitos não era um ponto positivo a ser considerado.

b. **CONSISTÊNCIA:** nesse grupo, havia 3 corpos de prova com o teor de 5% de adição de polpa de celulose, o Sp1, Sp2 e o Sp3. Quanto ao espalhamento, em comparação com o padrão, Sp7, os valores foram menores, porém, na comparação entre eles, o comportamento é uniforme com 21cm, 20cm e 21cm respectivamente. Esses valores levaram a crer que as misturas não tiveram o comportamento alterado devido ao tipo de caixa de ovos ou ao tamanho do grão de picotagem a que foram submetidos. Da mesma forma, o Sp4, com 6% de adição de polpa de celulose, também teve um comportamento semelhante, em termos de espalhamento. Portanto, considerou-se que entre 5% e 6% de adição de polpa de celulose, os compósitos se apresentaram coesos e uniformes, não havendo diferenças significativas entre eles.

A partir de 7% e 8% de adição de fibras de polpa de celulose, deu para perceber um comportamento mais seco e menos fluido, sendo que o Sp9, com 10% de adição de fibras de celulose foi o que teve o menor valor de espalhamento.

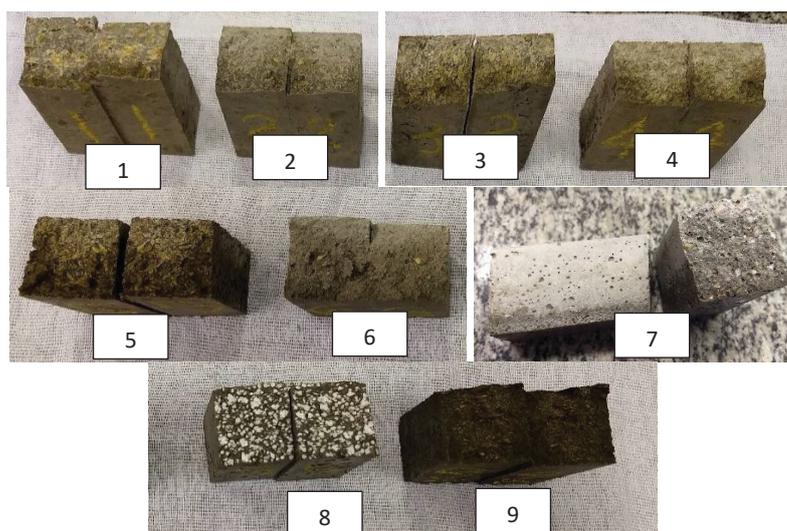
O compósito com adição de EPS apresentou um estado de fluidez semelhante ao padrão.

c. **ULTRASSOM:** os resultados dos testes de ultrassom aos 28 dias demonstram que a velocidade da onda sônica Sp7 (padrão) foi a mais alta. Os demais corpos de prova testados tiveram resultados da ordem de 26% (Sp9) a 72% (Sp3) da velocidade ultrassônica. A sequência de resultados colocou os corpos de prova, em ordem crescente começando pelo Sp9, seguido por Sp8, Sp6, Sp5, Sp4, Sp1, Sp2 e Sp3. Foi possível perceber que a partir de 6% de adição de fibras, diminuem os valores da velocidade da onda sônica. No caso do EPS, não houve modificação no traço em relação ao proposto no GRUPO 1 e os resultados foram semelhantes.

d. **ABSORÇÃO CAPILAR:** as amostras com adição de fibra de celulose apresentaram comportamentos diferentes quanto a absorção por capilaridade. O Sp1, com a granulometria menor de partículas de fibras foi o que teve o melhor resultado, quando comparado com o padrão. O Sp2 teve valores próximos ao Sp7 (padrão), ficando abaixo de 30% de diferença dele. Os outros corpos de prova com base de adição de polpa celulósica de 5% e 6% de polpa celulósica tiveram comportamento sem diferenças significativas. Mas, os corpos de prova com 7% e 8% de adição já tiveram um comportamento pior, pois chegaram quase ao estado de saturação total com índices elevados de absorção por capilaridade.

Os corpos de prova Sp8 e Sp9 ficaram saturados e foram desconsiderados no teste, como recomenda a norma brasileira. A FIGURA 2 apresenta a ascensão capilar dos corpos de prova desse grupo.

FIGURA 2 – ASCENSÃO CAPILAR DOS CORPOS DE PROVA DO GRUPO 2



FONTE: A autora (2018)

O Sp7, espécime padrão, composto de cimento e areia, apresentou menor índice de absorção de água por capilaridade ( $1,00 \text{ g/cm}^2$ ), enquanto compósitos de caixas de ovos, obtiveram resultados maiores,  $1,18 \text{ g/cm}^2$  a  $2,00 \text{ g/cm}^2$ . O Sp8 e Sp9 ficaram saturados.

## 4.3 GRUPO 3

A TABELA 10 e a TABELA 11 apresentam os resultados dos ensaios do GRUPO 3. Em verde, foi destacado o compósito padrão de referência desse estudo.

TABELA 10. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO GRUPO 3 (ESTADO FRESCO E AOS 14 DIAS).

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO				
DATA	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm <sup>3</sup>	<i>FLOW TABLE</i>	COMPRESSÃO		TRAÇÃO NA FLEXÃO	
14/11/2018		Diâmetro médio (cm)	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Força máxima (N)	Res. à tração na flexão (MPa)
30/11/2018 – 14 dias	Sp1 1:0,08:0,5 Cimento: papelão de caixa de ovo: água	19	26369	16,48	1876	4,4
	Sp2 1:0,08:0,5 Cimento: papelão: água	12	10792	6,75	891	2,09
	Sp3 1:0,08:0,5 Cimento: papel termossensível: água	13	20992	13,12	1934	4,53
	Sp4 1:3:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	22	15502	9,69	1187	2,78
	Sp5 1:1,193:0,0143:0,5 Cimento: areia: EPS: água	31	20959	13,1	1255	2,94
	Sp6 1:5:0,013:0,5 Cimento: areia: PVDC: água	21	15479	9,68	885	2,07
	Sp7 1:3:0,3:0,5 Cimento: areia: PET: água	27	15539	9,71	930	2,18
	<b>Sp8 1:3:0,5 Cimento: areia: água</b>	<b>23</b>	<b>20537</b>	<b>12,84</b>	<b>1831</b>	<b>4,29</b>

FONTE: A autora (2022)

TABELA 11. IDENTIFICAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO GRUPO 3 (28 DIAS).

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
DATA	TRAÇO em massa Corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16) cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM	ABSORÇÃO POR	COMPRESSÃO		TRAÇÃO NA FLEXÃO	
			CAPILARI//	Força máxima (N)	Tensão máxima (MPa)	Força máxima (N)	Res. à tração na flexão (MPa)
14/11/2018			g/cm <sup>2</sup>				
	Sp1 1:0,08:0,5 Cimento: polpa de caixa de ovo: água	107,4 μs 1490 m/s	3,30	26816	16,76	2478	5,81
	Sp2 1:0,08:0,5 Cimento: papelão: água	95,4 μs 1677 m/s	SAT	11221	7,01	1088	2,55
	Sp3 1:0,08:0,5 Cimento: papel termossensível: água	74,3 μs 2153 m/s	3,70	20679	12,92	2465	5,78
14/12/2018 – 28dias	Sp4 1:3:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água	63,6 μs 2516 m/s	2,06	13770	8,61	1226	2,87
	Sp5 1:1,193:0,0143:0,5 Cimento: areia: EPS: água	53,8 μs 2974 m/s	SAT	14768	9,23	1551	3,64
	Sp6 1:5:0,013:0,5 Cimento: areia: PVDC: água	67,9 μs 2356 m/s	2,58	15205	9,50	1010	2,37
	Sp7 1:3:0,3:0,5 Cimento: areia: PET: água	95,1 μs 1682 m/s	2,54	13030	8,14	1081	2,53
	<b>Sp8 1:3:0,5 Cimento: areia: água</b>	<b>38,8 μs 4124 m/s</b>	<b>1,00</b>	<b>57189</b>	<b>35,74</b>	<b>3202</b>	<b>7,5</b>

FONTE: A autora (2022)

a. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** Nos testes de tração à flexão, dos compósitos do GRUPO 3, houve aumento da resistência mecânica de todos os corpos de prova. Vale salientar que foi mantido o padrão, nesse caso, identificado por Sp8, para efeito de comparação.

Sp1 e Sp3 com adição de fibras de celulose tiveram comportamento parecido, sendo os que mais se aproximaram do valor padrão. Porém, o Sp2 teve resultados bem diferentes, com cerca de 50% a menos de capacidade de resistência à tração na flexão. No caso desses 3 corpos de prova, a origem das fibras de celulose era diversa, apesar disso, esperava-se que tivessem o comportamento parecido. Isso não ocorreu. É possível que o papelão de embalagens comuns, por conta de sua estrutura de fibras, não tenha se dissolvido adequadamente nas misturas.

No GRUPO 3, os corpos de prova com adição de 8% de fibras de caixas de ovos

apresentaram resultados aos 28 dias que mais se aproximaram do padrão, chegando a 89%, do valor de referência adotados neste grupo, definidos pelo espécime padrão, Sp8. O Sp4 com adição de EPS, foi moldado para experimentar o estudo de Strecker (2014) em que os traços eram volumétricos e, para manter o padrão de apresentação deste estudo, os valores foram apresentados em massa. Assim como o Sp5, também com adição de EPS, obtiveram resultados melhores que nos dos grupos 1 e 2 em comparação com o Sp7 (padrão) e entre os próprios corpos de prova. Nesse caso, apresentaram melhor resultado aos 28 dias e, o Sp5, com menor proporção de adição de EPS e com uma quantidade menor de areia por unidade de cimento, teve resultados superiores. Mas isso torna a mistura mais cara e o aproveitamento do rejeito, que é um dos objetivos deste estudo diminui.

O Sp6, com PVDC teve o menor resultado entre os compósitos desse grupo ficando com menos de 35% do valor padrão. A mistura com PET, Sp7, também não apresentou resultados satisfatórios quanto à resistência à tração na flexão.

Os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova analisados foram de 19% a 46% do padrão.

Vale ressaltar que, nesse grupo ainda os compósitos com fibras de celulose não tiveram areia adicionada às misturas. No entanto, de acordo com os resultados, considerou-se a substituição parcial da areia por material de adição ao invés de substituição total

b. **CONSISTÊNCIA:** nesse grupo, havia 3 corpos de prova com o teor de 8% de adição de polpa de celulose, o Sp1, Sp2 e o Sp3. Quanto ao espalhamento, em comparação com o padrão, Sp8, os valores foram menores, com 19 cm, 12 cm e 13 cm respectivamente. As misturas se apresentaram coesas, porém secas em relação ao padrão. Devido a esses resultados, considerou-se viável, dentre os compósitos com 8% de adição de polpa de celulose, a utilização de papel termossensível. Essa análise considerou que o material, apesar do resultado quanto à consistência ter sido quase 50% menor que o do padrão, se enquadrava nos propósitos desse estudo preliminar.

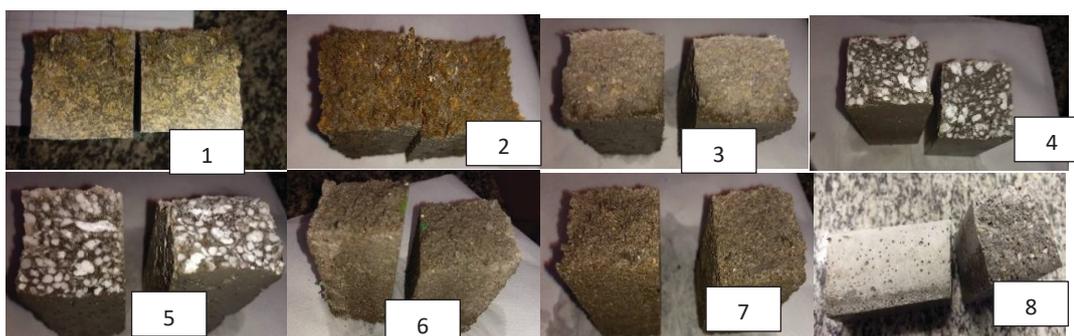
O Sp4, com 3% de adição EPS, teve comportamento semelhante ao do padrão, como nos grupos anteriores para esse mesmo material. O Sp5, com 1,4% de adição de EPS, teve como resultado um estado de consistência mais fluido, com um espalhamento 35% acima do padrão. O Sp7 também teve um espalhamento maior, ficando 17% acima do padrão.

c. **ULTRASSOM:** nesse grupo, o corpo de prova de referência, sem adições, foi o que teve o maior valor nos resultados dos testes de ultrassom aos 28 dias. Em seguida vieram o Sp5, Sp4, Sp6, Sp3, Sp2, Sp7 e, por fim, o Sp1.

Notou-se que há influência da quantidade de EPS adicionado à mistura quanto às modificações na porosidade do material. Nesse grupo foi proposto um traço adicional de EPS. Confirmou-se que com a diminuição na quantidade de adição de EPS e de areia o compósito ficou mais denso com o aumento da relação de cimento para os demais componentes da mistura. Com isso o valor do pulso ultrassônico (VPU) ficou mais alto.

d. **ABSORÇÃO CAPILAR:** nesse grupo, ficaram saturados e foram retirados do teste o Sp2 e o Sp5, um com adição de papelão comum de embalagens em geral e outro, com adição de EPS. A FIGURA 13 apresenta as imagens dos corpos de prova após o teste de absorção por capilaridade.

FIGURA 13 – ASCENSÃO CAPILAR DOS CORPOS DE PROVA DO GRUPO 3



FONTE: A autora (2022)

Todos os demais tiveram resultados superiores ao dobro do padrão, indicando maiores capacidades de absorver a água por capilaridade.

Os compósitos com base em adições de fibras de celulose tiveram resultados superiores aos dos que tiveram adições de PVDC, PET e até mesmo do Sp4 de EPS que, nesse teste não ficou saturado e obteve o índice de 2,06.

#### 4.4 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV

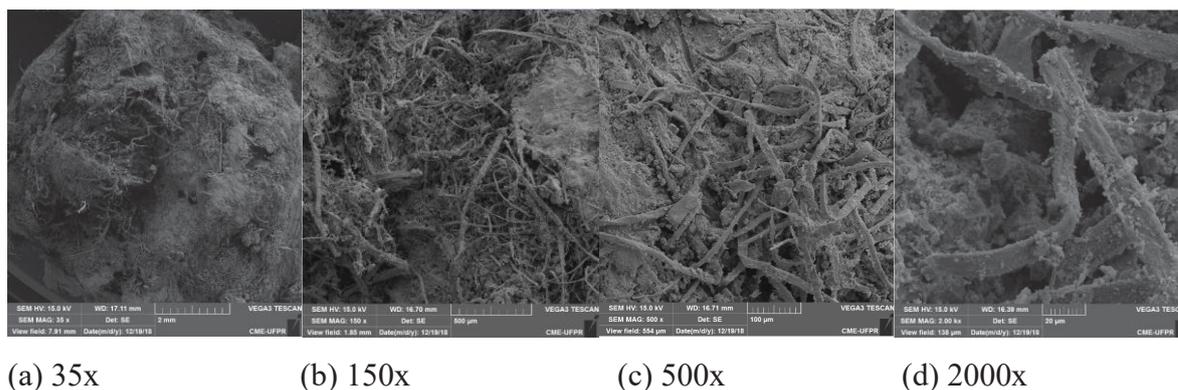
O objetivo desse ensaio foi identificar e fazer uma análise dos compósitos e produtos gerados nas misturas com a incorporação de fibras de celulose e de EPS.

Foram escolhidos os compósitos das amostras 1 e 3 para serem apresentadas neste

item, o Sp3 (8% de adição de papel termossensível) e o Sp4 (3% de adição de EPS moído).

O microscópio gerou imagens das amostras Sp3 e Sp4 com condições de se verificar o comportamento interno do material. As imagens obtidas por meio da análise de MEV para o Sp3, se encontram na FIGURA 14 (a), (b), (c) e (d).

FIGURA -14. MICROGRAFIAS DE COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM FIBRAS DE CELULOSE.



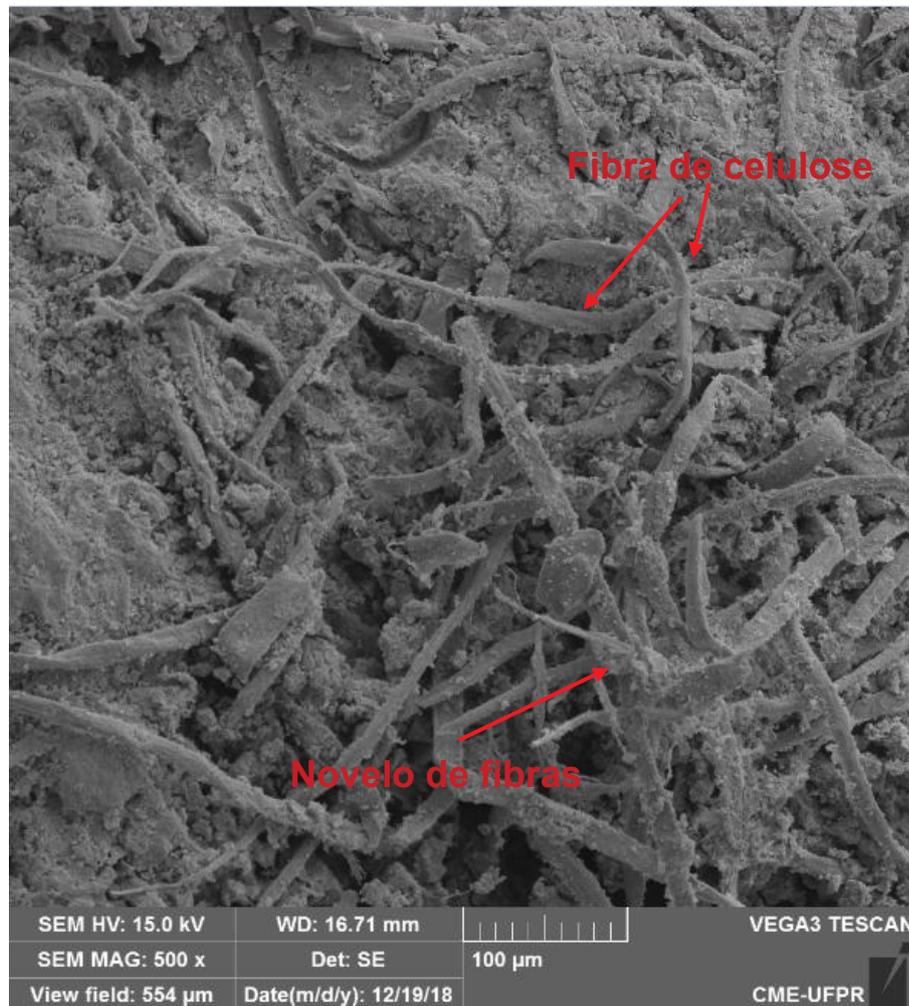
FONTE: A autora (2022)

As imagens proporcionaram condições para a análise da distribuição interna e da homogeneidade do compósito com adição de materiais fibrosos e porosos. Diferentes comportamentos foram configurados nas observações da análise de MEV. Pela observação das imagens de microscopia eletrônica percebeu-se que as falhas ocorreram devido ao tipo de fibra envolvida no compósito analisado.

Para o espécime Sp3 (8% de caixa de ovos), pode-se observar que a interface matriz/fibra é frágil e quase inexistente, pois há pouco material da matriz cimentícia envolvendo as fibras. Além disso, os vazios que se formaram, deixaram o material poroso e pouco coeso, levando à queda da resistência mecânica observada nos testes.

Há separação visível do material e, portanto o mecanismo de fratura ocorre principalmente, pela disposição heterogênea do material de adição na matriz. Esse comportamento fica visível no detalhe da FIGURA 15 em que se percebem os novelos e os vazios, deixados pelas fibras.

FIGURA -15. MICROGRAFIA COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM FIBRAS DE CELULOSE  
(AUMENTO DE 500X).



FONTE: A autora (2022)

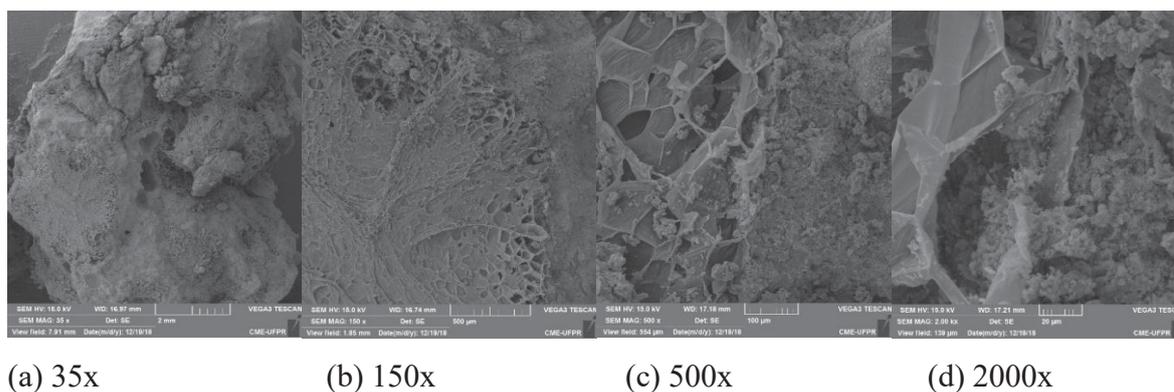
Assim, é possível concordar como em Ardanuy et al (2015) e Savastano Junior (2000), que a relação comprimento/espessura da fibra tem um efeito importante no mecanismo de fratura de compósitos de fibra de celulose. É importante perceber que, devido à adição de fibras de celulose (Sp3), existe uma distribuição heterogênea do material, formando novelos de fibras e vazios ao longo da amostra observada. Em sua pesquisa, Savastano Junior (2000) concluiu que, para a fabricação de compósitos enriquecidos com fibras naturais, é necessário fornecer uma grande área de superfície de contato entre essas fibras e a matriz cimentícia. Esse comportamento foi observado em materiais reforçados com fibras misturados com cimento Portland comum para uma abordagem inicial de curto prazo ao fibrocimento não convencional

O EPS não se configura como material fibroso, mas como pequenos grânulos alveolares, obtidos a partir da moagem grosseira do material Apesar da ausência da

configuração fibrosa, os resultados dos testes de tração à flexão apresentaram-se melhores do que os do Sp2, com a incorporação de fibras de papelão comum picado.

A FIGURA 16 ilustra a estrutura interna do Sp4 (EPS). O comportamento desse compósito foi diferente devido ao tipo de material adicionado.

FIGURA -16. MICROGRAFIAS DE COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM EPS.



(a) 35x

(b) 150x

(c) 500x

(d) 2000x

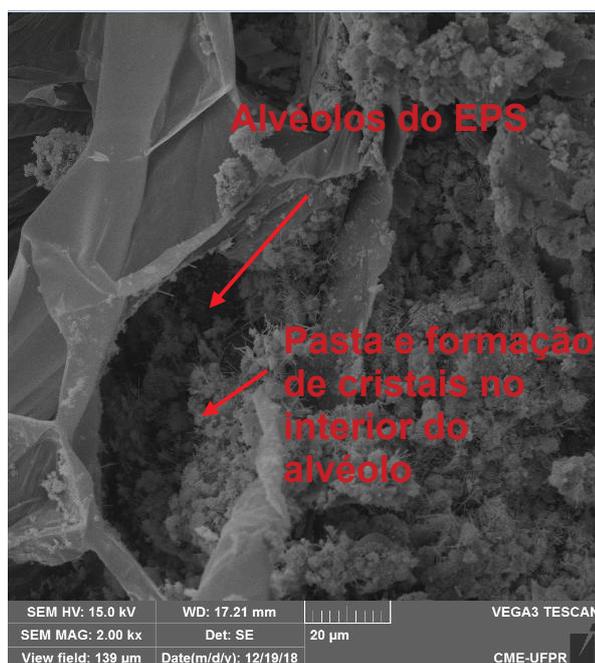
FONTE: A autora (2022)

A FIGURA 16b apresenta o material com as cavidades que são originadas, principalmente pela configuração cheia de alvéolos do material EPS.

A análise das micrografias permitiu observar que esse compósito teve um comportamento mais homogêneo com melhor distribuição interna dos materiais. Esse comportamento parece ter sido proporcionado pelo formato esférico das partículas de EPS. Assim, em função do teor de areia, apesar do número de vazios observado nas micrografias, o uso do EPS facilitou a distribuição dos materiais na composição. Somado a isso, e devido às partículas de diferentes tamanhos, a mistura de areia com o EPS levou a uma interface mais homogênea, semelhante ao fenômeno de empacotamento do material. O empacotamento de partículas ocorre quando a proporção e o tamanho dos materiais particulados preenchem os vazios maiores com partículas menores. Assim, sucessivamente os vazios menores serão novamente preenchidos com partículas ainda menores (OLIVEIRA et al, 2000).

A análise da micrografia permitiu observar que há uma formação cristalina no interior dos alvéolos de EPS, indicando que houve a entrada de pasta de cimento nessas cavidades. Esse comportamento pode ser observado na FIGURA 17, em que a amostra é vista com aumento de 2000 vezes.

FIGURA -17. MICROGRAFIA COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM EPS (AUMENTO DE 2000X).



FONTE: A autora (2022)

#### 4.5 RESUMO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS TRÊS GRUPOS

O resumo das resistências mecânicas à tração na flexão (Mpa), foram organizados em tabelas, pois para atender à NBR15498:16. Assim, as TABELAS 12 a 15 foram apresentadas para que pudessem ser visualizados e comparados tais resultados.

Tabela 12 - 1º GRUPO			Tabela 13 - 2º GRUPO			Tabela 14 - 3º GRUPO		
Sp / Idade (dias)	TRAÇÃO NA FLEXÃO Tensão de ruptura (MPa)		Sp / Idade (dias)	TRAÇÃO NA FLEXÃO Tensão de ruptura (MPa)		Sp / Idade (dias)	TRAÇÃO NA FLEXÃO Tensão de ruptura (MPa)	
	14	28		14	28		14	28
Sp 1	0,32	0,26	Sp 1	5,66	5,17	Sp 1	4,40	5,81
Sp 2	4,79	1,91	Sp 2	5,77	4,62	Sp 2	2,09	2,55
Sp 3a	1,90	6,48	Sp 3	5,42	5,81	Sp 3	4,53	5,78
Sp 3b	5,07	6,02	Sp 4	5,78	6,68	Sp 4	2,78	2,87
Sp 4	4,29	7,50	Sp 5	4,05	3,88	Sp 5	2,94	3,64
FONTE: A autora (2022)			Sp 6	5,45	6,49	Sp 6	2,07	2,37
			Sp 7	4,29	7,50	Sp 7	2,18	2,53
			Sp 8	2,25	1,67	FONTE: A autora (2022)		
			Sp 9	2,66	2,89			
			FONTE: A autora (2022)					

Tabela 15 – Resultados agrupados de todos os corpos de prova

CORPO DE PROVA	GRUPO	IDENTIFICAÇÃO	MATERIAIS	IDADE	
				14 dias	28 dias
Sp4	1	PADRÃO	Cimento/areia/água	4,29	7,50
Sp3b	1	PAP40	Polpa cx ovos	5,07	6,02
Sp3a	1	PAP50 a	Polpa cx ovos	1,90	6,48
Sp1	2	PAP50 b	Polpa cx ovos grão pqn	5,66	5,17
Sp2	2	PAP50 c	Polpa cx ovos - 1dz	5,77	4,62
Sp3	2	PAP50 d	Polpa cx ovos - 2 1/2 dz	5,42	5,81
Sp4	2	PAP60	Polpa cx ovos	2,78	2,87
Sp5	2	PAP70	Polpa cx ovos	4,05	3,88
Sp6	2	PAP80 a	Polpa cx ovos	5,45	6,49
Sp1	3	PAP80 b	Polpa cx ovos	4,40	5,81
Sp2	3	PAP80 c	Papelão	2,09	2,55
Sp3	3	PAP80 d	Papel termossensível	4,53	5,78
Sp9	2	PAP100	Polpa cx ovos	2,66	2,89
Sp5	3	EPS30 a	1:1,193:0,0143:0,5	2,94	3,64
Sp8	2	EPS30 b	1:2 A/C 0,6	2,25	1,67
Sp4	2	EPS30 c	1:3 A/C 0,6	5,78	6,68
Sp2	1	EPS30 d	1:3 A/C 0,6	4,79	1,91
Sp6	3	PLAS	PVDC	2,07	2,37
Sp7	3	PET	Garrafas	2,18	2,53
Sp1	1	PINUS	Serragem	0,32	0,26

FONTE: A autora (2022)

Os compósitos com incorporação de fibras vegetais, segundo Ardanuy (2015), apresentam melhores características quanto aos esforços mecânicos e resistência a rachaduras em comparação com materiais à base de cimento sem adição de fibra. O comportamento do compósito após o início da fissuração tem nas fibras uma espécie de ponte entre as fissuras da matriz e as cargas. Por isso, esperava-se que a adição de fibras, em substituição à areia, tornasse o material mais dúctil e mais leve (BETCHIKOU et al, 2012), além de mais econômico.

No entanto, ao se eliminar a areia para usar apenas as fibras de celulose, houve um aumento significativo na relação cimento/agregado no traço e isso pode ter influenciado a resposta do compósito, principalmente, quanto aos esforços de tração. Além disso, essas respostas sugerem que o aumento do consumo de cimento, aumentou o preço por unidade de volume do novo compósito, não compensando o resultado alcançado.

Assim, foram utilizadas as recomendações de resistência à tração na flexão para placas de cimento de fibra conforme se pode observar na TABELA 16. A resistência à tração na flexão da placa na direção de menor resistência não pode ser inferior a 70% do valor

especificado na referida TABELA 16.

Tabela 16. Requisitos para as placas de fibrocimento sem amianto da ABNT/NBR15498:16 requisitos de resistência à tração

Categoria	Placas classe A (MPa) adequado para aplicações externas sujeitos à ação direta de sol, chuva, calor e umidade	Placas classe B (MPa) adequado para aplicações internas e aplicações externas não sujeitas à ação direta de sol, chuva, calor e umidade
1	-	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

FONTE: Adaptado de NBR15498 (2016)

Como os resultados obtidos em relação ao comportamento mecânico foram para a categoria 3, classe A e categoria 2, classe B (NBR15498:16). A substituição parcial da areia ao invés da substituição total, foi considerada como uma alternativa mais eficaz em termos de utilização de recursos e economia de resíduos no consumo de materiais como cimento e areia, sem perda de qualidade.

Quanto à resistência à compressão, embora a NBR15498:16 não faça menção, foi importante entender o comportamento dos compósitos em face a esse esforço para conhecer seu comportamento e considerar outros usos para os compósitos em estudo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do experimento proposto nessa fase da pesquisa, proporcionou condições de auxiliar na identificação dos materiais, misturas e compósitos com os melhores resultados nos ensaios para estabelecer como a próxima etapa, chamada de FASE II, seria desenvolvida.

Para isso, foram identificados os comportamentos dos compósitos considerando os teores das misturas, tipo de rejeito e preparação do material, visando, principalmente, atender requisitos da norma brasileira para a produção de placas de fibrocimento. NBR15498:16 e a adição de materiais aos compósitos visando sustentabilidade às novas misturas.

O desenvolvimento dessa etapa permitiu apresentar como conclusões que os

materiais encontrados em cooperativas de coleta e separação de resíduos secos urbanos, e que foram selecionados neste estudo, têm potencial e quantidade gerada para reutilização em compósitos para a construção civil.

Foi possível observar também, que existem muitos materiais, tais como os papéis e plásticos que se encontram indevidamente descartados. Porém, se forem oferecidas oportunidades de reaproveitamento para esses materiais, pode haver diferentes direcionamentos com relação a procedimentos para melhorar o processo de descarte e separação de resíduos sólidos urbanos.

Alguns materiais encontrados, já têm uma cadeia de reutilização que proporciona rendimentos à comunidade de catadores. Entre eles, estão os papéis e plásticos do tipo que foram utilizados e descartados do experimento nessa etapa da pesquisa. Sendo assim, foi considerada a interferência nessa cadeia, bem como a geração de quantidade e a utilidade de se retirar o material da sua cadeia, já existente, e a possibilidade de se criar um outro fluxo de utilização.

Diante do estudo aqui desenvolvido, pode-se considerar que, apesar da boa performance das caixas de ovos produzidas a partir de polpa moldada de celulose, como material de adição aos compósitos, o ciclo de reutilização/reciclagem desse material já existe, não só pelas condições de aparas, mas como embalagem retornável aos produtores. Segundo Martínez (2014) há dificuldades de produção das embalagens para ovos e frutas, assim, as próprias empresas de produção de ovos e frutas reutilizam as embalagens. Foi possível confirmar tal fato, ao se entrar em contato com produtores de ovos para a obtenção de dados para saber o volume de descarte desse material na própria cooperativa. Além disso, as embalagens são reutilizadas pelos revendedores em troca direta nos comércios locais. Quando elas sofrem algum dano, como amassamentos ou rasgos, elas podem retornar ao processo de produção e então, remoldadas. Por esse motivo, esse material foi dispensado, neste momento, como possível adição para os compósitos propostos neste estudo.

Os materiais do tipo plásticos (PVDC) foram descartados devido ao seu baixo resultado nos testes e o material PET, foi considerado como coadjuvante para um estudo posterior, ainda nesta pesquisa, mas com outro tipo de tratamento antes da adição à matriz cimentícia.

Assim, foram selecionados para a FASE II, as fibras de celulose de papel termossensível e o EPS. O papel termossensível, pela identificação do tipo de descarte e pela busca de uma solução ambiental para esse problema e o EPS, pela possibilidade de conferir leveza ao produto feito a partir do compósito com esse tipo de adição.

## 6 REFERÊNCIAS

ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria. O que é EPS? 2019. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html> Acesso em: 23 mar. 2019.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738:2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016

\_\_\_\_\_. NBR 8802:2019 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 9779:2012 - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 13230:2008 - Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 13276:2016 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15261:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15395:2006 - Garrafa soprada de PET para refrigerantes e águas - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 15498:2016 - Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 15588:2008 - Pré-forma de PET para sopro de embalagem para alimentos e bebidas - Requisitos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR15630:2008 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 15988:2009 - Plásticos - Filme e revestimento de poli(tereftalato de etileno) (PET) biorientado. ABNT, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR16687:2018 - Cimento Portland – Requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. NBR16832:2020 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Lãs de PET para isolamento térmico e acústico – Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2020.

ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research. *Construction and Building Materials*, 79. (2015) p155+. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815000550?via%3Dihub>> Acesso em 23 abr. 2019.

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. Use of select waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, v.27, p.1870-1876, 2007. Disponível em: [https://www.academia.edu/6533236/Use\\_of\\_selected\\_waste\\_materials\\_in\\_concrete\\_mixes](https://www.academia.edu/6533236/Use_of_selected_waste_materials_in_concrete_mixes). Acesso em: 25 dez. 2018

BENTCHIKOU, M., GUIDOUM, A., SCRIVENER, K., SILHADI, K., HANINI, S. Effect of recycled cellulose fibers on the properties of lightweight cement composite matrix. *Construction and Building Materials* 34.1 p451. 2012. Disponível em: <[https://www.academia.edu/28509201/Effect\\_of\\_recycled\\_cellulose\\_fibres\\_on\\_the\\_properties\\_of\\_lightweight\\_cement\\_composite\\_matrix](https://www.academia.edu/28509201/Effect_of_recycled_cellulose_fibres_on_the_properties_of_lightweight_cement_composite_matrix)> Acesso em: 23 abr. 2019.

CARDOSO, F. A. Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico I F.A. Cardoso. São Paulo, 2009. 138p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/78733/metodo-de-formulacao-de-argamassas-de-revestimento-baseado-e>> Acesso em: 12 mar. 2022.

KAY, P.; HISCOE, R.; MOBERLEY, I.; BAJIC, L.; MCKENNA, N. **Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments**. *Environmental Science and Pollution Research* (2018) 25:20264–20267 Received: 7 March 2018 /Accepted: 17 April 2018 /Published online: 7 June 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2070-7>. Acesso em: 09 fev. 2022.

KLEIN, L. **Todo papel é reciclável?** 2017. Conexão Planeta. Disponível em: <https://conexaoplaneta.com.br/blog/todo-papel-e-reciclavel/>. Acesso em: 03 jan. 2022.

LUCAS, D., BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na Construção Civil. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008 – ISSN 1981-9951. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/850>. Acesso em: 15 jan. 2019.

MARTÍNEZ, K. Y. P.; TOSO, E. A. V.. **Planejamento da produção na indústria de embalagens de polpa moldada**. 2016. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1409-14>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/5NJZJDJc98JVzqQKSzfPm9c/?lang=pt>. Acesso em: 09 fev. 2022.

MOURA et al 2015, – *Revista de estudos ambientais (Online)* v.17, n. 1, p. 54-63, jan./jun. 2015 ISSN 1983 1501 PLACAS CIMENTÍCIAS À BASE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES João Marcos Bosi Mendonça de Moura e Lúcio Flávio da Silveira Matos Disponível em: <<http://gorila.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/5040/3192>> Acesso em: 25 abr. 2018.

OLIVEIRA, L. B. Produção e caracterização de compósito de matriz geopolimérica com adição de resíduo industrial. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade

Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/7706>> Acesso em: 26 jan. 2022.

PAPPU, A.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S. R. Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, v. 42, n. 6, p. 2311-2320, jun. 2007. <https://www.semanticscholar.org/paper/Solid-wastes-generation-in-India-and-their-in-Pappu-Saxena/5c450da788d33190f1dc807e1c20bee2f63dfbfa>

RAO, M.C., BHATTACHARYYA, S.K. AND BARAI, S.V. Behaviour of Recycled Aggregate Concrete under Drop Weight Impact Load. *Construction and Building Materials*, 25 (2011), 69-80. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.055> Acesso em: 02 abr. 2019.

SANTOS, M. R., TEIXEIRA, C. E., KNISS, C. T. Avaliação de Desempenho Ambiental na Valorização de Resíduos Sólidos de Processos Industriais. *Revista Adm. UFSM*, Santa Maria, v7, Edição Especial, p.75-92. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/12982>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

SAVASTANO JUNIOR, H. J. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. Livre docência – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000, 152p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-08102007-155734/pt-br.php>>. Acesso em 15 jan. 2019.

STRECKER, K., SILVA, C. A., PANZERA, T. H. Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (isopor) (Fabrication and characterization of cement based composite materials with styrofoam inclusions) Departamento de Engenharia Mecânica - DEMEC, Universidade Federal de S. João Del-Rei - UFSJ, (2014). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/Z47gnFxyQym5M8FgY7wZ6q/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em 12 mar. 2022.

TAM, V. W. Y., SOOMRO, M., EVANGELISTA, A. C. J. A Review of Recycled Aggregate 614 in Concrete Applications. *Construction and Building Materials* 172, p.272-292. 2018. 615 Retrieved from: <<http://iranarze.ir/wp-content/uploads/2018/09/E9401-IranArze.pdf>>. Acesso em 03 jan. 2019.

VILHENA, A. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE-COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, 2018. 316 p.: il.; 11.264 kbytes. Disponível em: [https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo\\_Municipal\\_2018.pdf](https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf). Acesso em: 15 jan. 2021.

WOLFF, E., SCHWABE, W. K., CONCEIÇÃO, S.V., SANTANNA-GRECO, J. A., GRECO, M., MACHADO, R.R. Using mathematical methods for designing optimal mixtures for building bricks prepared by solid industrial waste. Springer-Verlag, June 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1223-y> Acesso em: 31 dez. 2018.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C., Dispersão e empacotamento de partículas – princípios e aplicações em processamento cerâmico, *Fazendo Arte Editorial*, S. Paulo, SP (2000), pp 224, ISBN 85-86425-15-X

## b) PLACAS DE FIBROCIMENTO PRODUZIDAS COM OS NOVOS COMPÓSITOS

### 1 INTRODUÇÃO

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a viabilidade da utilização de rejeitos de RSU na produção de compósitos cimentícios para a produção de placas de fibrocimento, respeitando-se os preceitos das normas brasileiras. Dessa forma, esta etapa, identificada por FASE Ia, foi considerada para testar as misturas em placas e avaliar seu comportamento buscando atender à NBR15498:2016, realizada simultaneamente à FASE I.

Os compósitos escolhidos para os testes de placas na FASE Ia, dentre os corpos de prova da FASE I foram os que continham PVDC, EPS e papel termossensível em sua composição. Como ainda não se tinham os resultados dos testes realizados com as composições propostas, a escolha foi feita para experimentar 3 dos materiais com possibilidade de bons resultados nos testes com corpos de prova prismáticos.

### 2 MÉTODOS

A NBR15498 (ABNT, 2016), determina no item 3.3 o “ensaio de tipo” que é definido por:

ensaio realizado para demonstrar a conformidade com os requisitos desta Norma, ou para aprovação de um novo produto, ou quando uma mudança fundamental for feita na formulação ou no método de fabricação, cujos efeitos não podem ser previstos baseados em experiências anteriores. Entende-se como mudança fundamental:

- Introdução ou supressão de insumos;
- Alteração relevante de dosagem de insumos da formulação;
- Alteração relevante do processo de manufatura

Como não se tratava de placas pré-moldadas em tamanho comercial, foi feita uma adaptação ao que está descrito no item 9.1.2.2.1 da NBR15498:2016, que determina corpos de prova retangulares para placas com espessura definidas entre 9mm e 30mm. Assim, ao invés de serem extraídos corpos de prova de placas prontas, compradas no comércio, foram produzidos corpos de prova moldados em forma de placas para testes, conforme pode ser visualizado na FIGURA 16.

FIGURA-16. MODAGEM E DESFORMA DE PLACAS



FONTE: A autora (2022)

O item 9.1.2.5 na mesma norma, que define a aparelhagem para o ensaio, possibilita que distância entre os suportes possa ser reduzida, caso não seja possível obter corpos de prova com as dimensões especificadas. Nesse caso, a dificuldade foi o espaço disponível na prensa e por isso mesmo, não foi possível produzir os corpos de prova com dimensões maiores. Assim, foi feita uma adaptação por não se cumprir a distância mínima entre os apoios, de 36cm, já que não poderia ser inferior a 18 vezes a espessura do corpo de prova, em milímetros.

Dessa forma, os corpos de prova foram definidos pela distância disponível para a acoplagem dos apoios da prensa EMIC do LaME/UFPR. Assim, os corpos de prova foram moldados tendo forma prismática com dimensões de 30cm x 10cm x 2cm para o ensaio de resistência à tração na flexão.

Os corpos de prova preparados e identificados podem ser observados na FIGURA 17.

FIGURA-17. CORPOS DE PROVA DE PLACAS MOLDADAS



FONTE: A autora (2022)

O acessório de base para o ensaio de ruptura também foi produzido pela pesquisadora, pois não havia aparatos adequada para esse ensaio no LaME-UFPR. Para isso, foi produzida uma base para a prensa com uma chapa de aço dobrada de 3mm de espessura. As formas foram produzidas utilizando-se placas de compensado plastificado de 10mm de espessura. Os cortes da chapa de compensado foram feitos nas oficinas de madeira da UFPR e a montagem, pela

equipe de pesquisa desta fase.

FIGURA-18. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO



FONTE: A autora (2022)

Os ensaios desta fase foram feitos em caráter preliminar, para analisar possibilidades e adaptar os procedimentos para a fase final da pesquisa. Por isso, foi considerada uma única bateria de moldagens, com 4 corpos de prova para cada um dos compósitos, para ruptura na idade de 28 dias.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As misturas escolhidas foram dos corpos de prova Sp3, Sp4 e Sp6, contemplando 3 tipos de materiais de interesse para a continuação da pesquisa. Os compósitos tiveram em sua composição os materiais de adição que foram, o papel termossensível, o EPS e o PVDC, conforme descritos na TABELA 16.

TABELA 16. IDENTIFICAÇÃO E TRAÇO DOS CORPOS DE PROVA DAS PLACAS

Espécime	Traço/composição
Sp3	1:0,08:0,5 Cimento: papel termossensível: água
Sp4	1:3:0,03:0,6 Cimento: areia: EPS: água
Sp6	1:5:0,013:0,5 Cimento: areia: PVDC: água

FONTE: A autora (2022)

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados para essa fase estão descritos na TABELA 17.

TABELA 17. IDENTIFICAÇÃO E TRAÇO DOS CORPOS DE PROVA DAS PLACAS

Espécime	Traço/composição	Resistência à tração na flexão (MPa)
Sp3	1:0,08:0,5	
	Cimento: papel termossensível: água	3,75
Sp4	1:3:0,03:0,6	
	Cimento: areia: EPS: água	1,87
Sp6	1:5:0,013:0,5	
	Cimento: areia: PVDC: água	3,01

FONTE: A autora (2022)

A resistência à tração na flexão,  $R_f$ , foi calculada pela equação definida pela NBR15498:

$$R_f = \frac{3P_{\text{máx}} \times L}{2b \times e^2}$$

Onde:

$R_f$  é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

$P_{\text{máx}}$  é a carga de ruptura por flexão, expressa em newtons (N);

$L$  é a distância entre eixos dos suportes, expressa em milímetros (mm);

$b$  é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$e$  é a espessura média do corpo de prova (média aritmética das medidas), expressa em milímetros (mm).

## 5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nessa fase intermediária, foi possível concluir que para o ensaio de placas seria necessário fazer moldagens de corpos de prova mais adequados ao que a norma determina.

Os valores encontrados levaram a crer que existe potencial de utilização dos compósitos propostos para a produção de placas de fibrocimento, no entanto, ainda em um estágio inicial de testes, há de se considerar os testes das fases subsequentes para a finalização e escolha dos materiais para a última fase desta pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15498:2016 - Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

c) ESTUDO DE ADIÇÃO DE EPS E DE APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL EM

## COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

### 1 INTRODUÇÃO

O uso de fibras como reforço para compósitos tem ganhado espaço ao longo dos anos. Lima Junior (2007) utilizou fibras da semente do açaizeiro como reforço de compósitos fibrocimentícios. KAY (2012), propôs a formulação de um compósito a partir de resíduos de lodo de papel, cinza de madeira e cal na produção de elementos com aplicabilidade na construção civil. Esse autor concluiu em sua pesquisa que a incorporação dos resíduos selecionados tinha capacidade de produzir um compósito apropriado para o desenvolvimento de materiais para a construção civil, e completa, considerando a possibilidade de minimizar os impactos ambientais pela disposição desses resíduos em aterros.

Outros materiais cimentícios reforçados com fibras têm sido desenvolvidos com objetivo de aumentar a capacidade de absorção de energia. Essas adições poderiam contribuir para maior tenacidade e resistência ao impacto, bem como, prevenir, retardar ou controlar o processo de abertura e dimensão das fissuras, conferindo maior durabilidade ao material (CARDOSO, 2009).

Um estudo realizado por Mostafa e Uddin (2016), nos Estados Unidos, propôs o uso de fibras de bananeira em blocos de terra compactados (CEBs), já que esse tipo de fibra está disponível devido aos resíduos agrícolas do cultivo de banana. O estudo mostrou que os blocos construídos pela adição de fibras de bananeira (B-CEB) ao longo da mistura tiveram melhor resultado que o bloco sem fibras (CEB) tanto na resistência à compressão quanto à flexão.

Devido às grandes quantidades de resíduos produzidas no processamento de grãos, Kizinievič et al (2017), na Lituânia, prepararam compostos para moldagem de tijolos de barro adicionando 5%, 10% e 20% de casca de aveia ou casca e farelo de cevada queimando a 900°C e 1000°C para analisar a possibilidade de utilizar esses materiais na construção civil. A mistura ideal foi a de 5% de casca de aveia ou casca e farelo de cevada queimados a 1000°C, os testes com maiores teores da adição reduziram a resistência à compressão do tijolo de barro.

Rahman et al (2019) testaram, na Malásia, o comportamento da cinza de óleo de palmeira (POFA) e casca de ovos (ES), um material residual encontrado em grande quantidade nesse país, em blocos de alvenaria constituídos basicamente por cimento Portland. Esses pesquisadores concluíram que a adição de pó de POFA e ES têm potencial como substitutos do cimento em estrutura de concreto expandido e precisam ser explorados.

Entretanto, poucos estudos estão disponíveis na literatura sobre compósitos que tenham adições provenientes de materiais descartados como rejeitos de resíduos sólidos

urbanos, RSU, conforme se pode confirmar pelos estudos de revisão sistemática da literatura realizadas no início desta pesquisa (APÊNDICE 1 e 2).

A durabilidade dos compósitos cimentícios é um assunto complexo, geralmente relacionada à ação de diversos agentes e fenômenos agressivos. A degradação desse tipo de material está diretamente associada à permeabilidade, identificada pela possibilidade da passagem de águas agressivas ou a ação destruidora dos agentes atmosféricos (MONTEIRO, 1993a).

As características microestruturais, segundo Cardoso (2009), têm início no processo de mistura com água, sendo definidos os estados iniciais de homogeneidade, dispersão das partículas e do teor de ar incorporado do material fluido. No estado endurecido, são analisadas, entre outras propriedades, a porosidade, as resistências mecânicas de tração e de compressão, de aderência, módulo de elasticidade e de deformação e permeabilidade.

## 2 MÉTODOS

Assim como na FASE I, as moldagens e os testes da FASE II foram realizados no laboratório de Materiais e Estruturas Laboratoriais da Universidade Federal do Paraná (LaME). Porém, os ensaios de resistência mecânica foram realizados no laboratório de concreto da PUCPR, utilizando-se o mesmo tipo de equipamento, uma prensa EMIC, modelo DL-10000, de capacidade máxima de 100kN (FIGURA 15). Importante frisar que os aparatos de ensaio foram cedidos pelo LaME para que os resultados não sofressem alterações devido aos pontos de contato.

FIGURA - 15. PRENSA EMIC-DL10000 E APARATOS DE ENSAIO.



FONTE: A autora (2022)

Os corpos de prova propostos nessa fase foram avaliados considerando-se a NBR13279 (ABNT, 2005), características físicas e mecânicas, o ensaio de velocidade de propagação de onda ultrassônica é padronizado pela norma NBR8802 (ABNT, 2019). Também foi utilizada a NBR 15630 (ABNT, 2008), para a determinação do módulo de

elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica, a NBR13276 (ABNT, 2016), na determinação do índice de consistência (estado fresco) e NBR15261 (ABNT, 2005), na determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).

O papel termossensível foi fragmentado na Fragmentadora de Papel Secreta 15 C 127v Menno - 3420-727, em pedaços regulares de 0,3cm x 2,0cm. Devido à sua baixa gramatura média que é de 56g/m<sup>2</sup> para cupons em geral, o material fragmentado não necessitou de molho prévio na água para ser adicionado à mistura do compósito. O EPS foi moído em um liquidificador doméstico para transformar pedaços grandes em grãos pequenos com um diâmetro médio de 0,3cm.

Após a preparação e a separação dos materiais, as quantidades para mistura tiveram suas massas determinadas em uma balança de escala tipo *Centesimal Scale Mark* M5202 - 5200g X 0,01g. Em seguida, foram preparados os compósitos adicionando-se os materiais aos misturadores, onde ficaram durante 10 minutos na velocidade baixa do aparelho.

Depois dos materiais terem sido levados ao misturador, foram moldados corpos de prova prismáticos de 4cm x 4cm x 16cm, de acordo com a norma brasileira, NBR13279 (ABNT, 2005). Também foram moldados os corpos de prova do tipo “barra”, para a análise da variação dimensional, tal como prescreve a NBR15261 (ABNT, 2005) como pode ser visualizado na FIGURA 16.

FIGURA - 16. CORPOS DE PROVA PREPARADOS PARA ENSAIOS.



FONTE: A autora (2022)

Os ensaios de resistência mecânica e de ultrassom de todos os corpos de prova dessa etapa (FASE II), foram realizados em três idades, aos sete, catorze e vinte e oito dias após a moldagem. Assim que foram desmoldados, os corpos de prova foram submetidos à cura em câmara seca, com temperatura constante, controlada a 23°C e 50% de umidade. Os resultados dos ensaios foram organizados em tabelas e gráficos considerando a tensão de ruptura, tanto para tração na flexão como para compressão, em Megapascals (MPa). Para a seleção dos compósitos, considerou-se ainda o que afirma Medeiros (2012) a respeito da norma RILEM TC162-TDF/2002 (do francês: *Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages*), que a variabilidade nos resultados do

ensaio à flexão se situa entre 10% a 30%.

Para a determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear), foram tomadas medidas utilizando-se um pórtico de variação dimensional, relógio comparador com precisão de 0,001mm e uma barra de calibração que pode ser visualizado na FIGURA 17.

FIGURA - 17. PÓRTICO DE VERIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL COM RELÓGIO COMPARADOR.



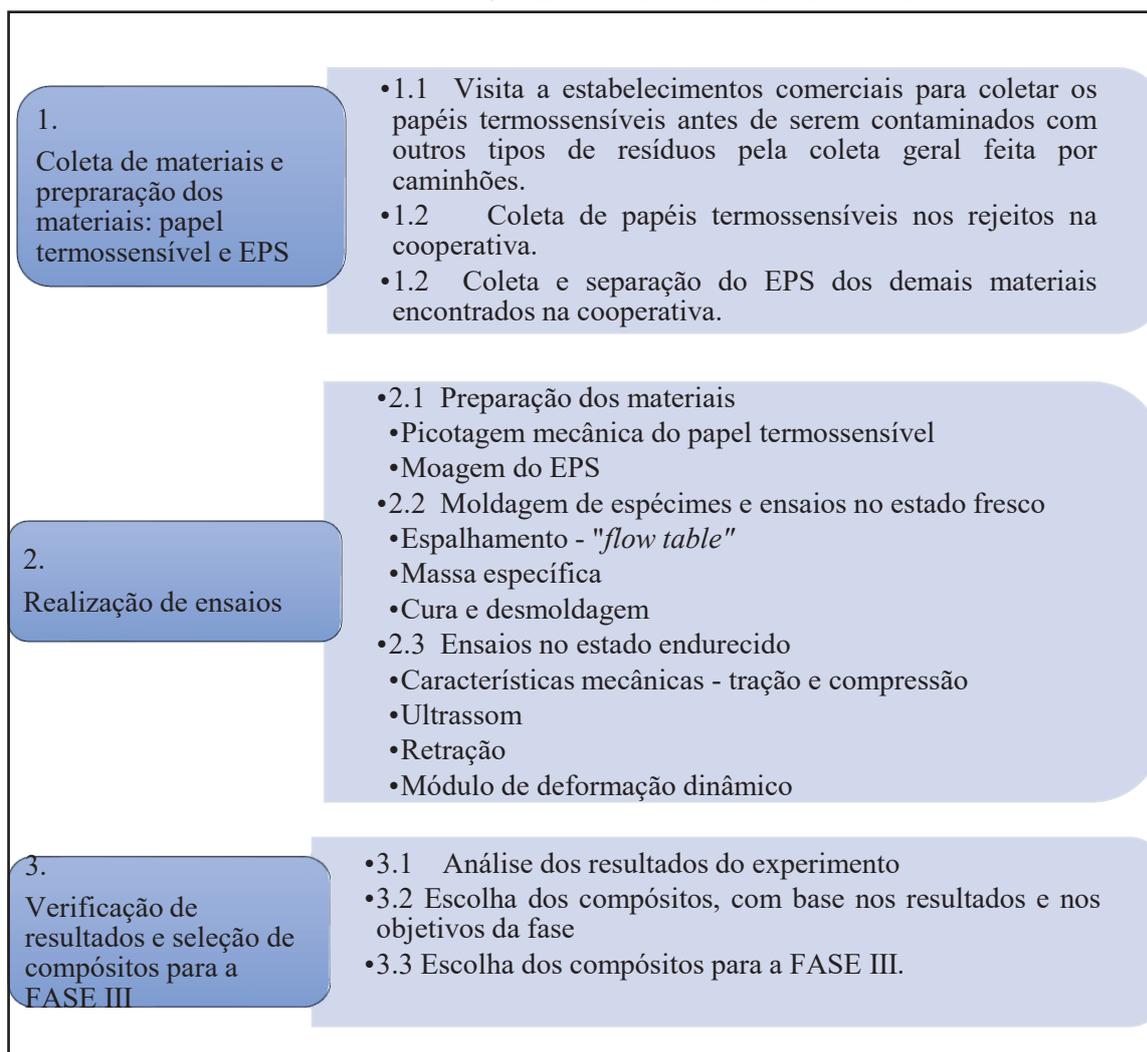
FONTE: A autora (2022)

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Pulse Velocity - Pundit LabPL-200, da Proceq, com a disposição direta entre os transdutores, com frequência do transdutor de 54 kHz e propagação de onda a cada 9,3  $\mu$ s. A tensão de excitação foi de 500V, com ganho do receptor de 1000x. Para melhorar o contato entre os transdutores nas faces dos corpos de prova utilizou-se um gel condutor específico para ultrassom para o acoplamento.

Utilizaram-se dois programas para o delineamento do experimento e para as análises estatísticas dos resultados dos ensaios, o software Minitab®17, durante o tempo permitido para teste do produto, e o software PAST (PAleontological STatistics), de livre acesso, desenvolvido por Hammer et al (2001). Os resultados obtidos nos ensaios foram previamente organizados e gerados gráficos no software Excel, Microsoft Office 365.

Nessa fase os dois materiais de adição escolhidos foram resultado das análises dos ensaios da FASE I, as fibras de celulose do papel termossensível picotado (CEL) e o EPS triturado. A FIGURA 18 apresenta o resumo do método de estudo da FASE II.

FIGURA - 18. RESUMO DO MÉTODO DA FASE II

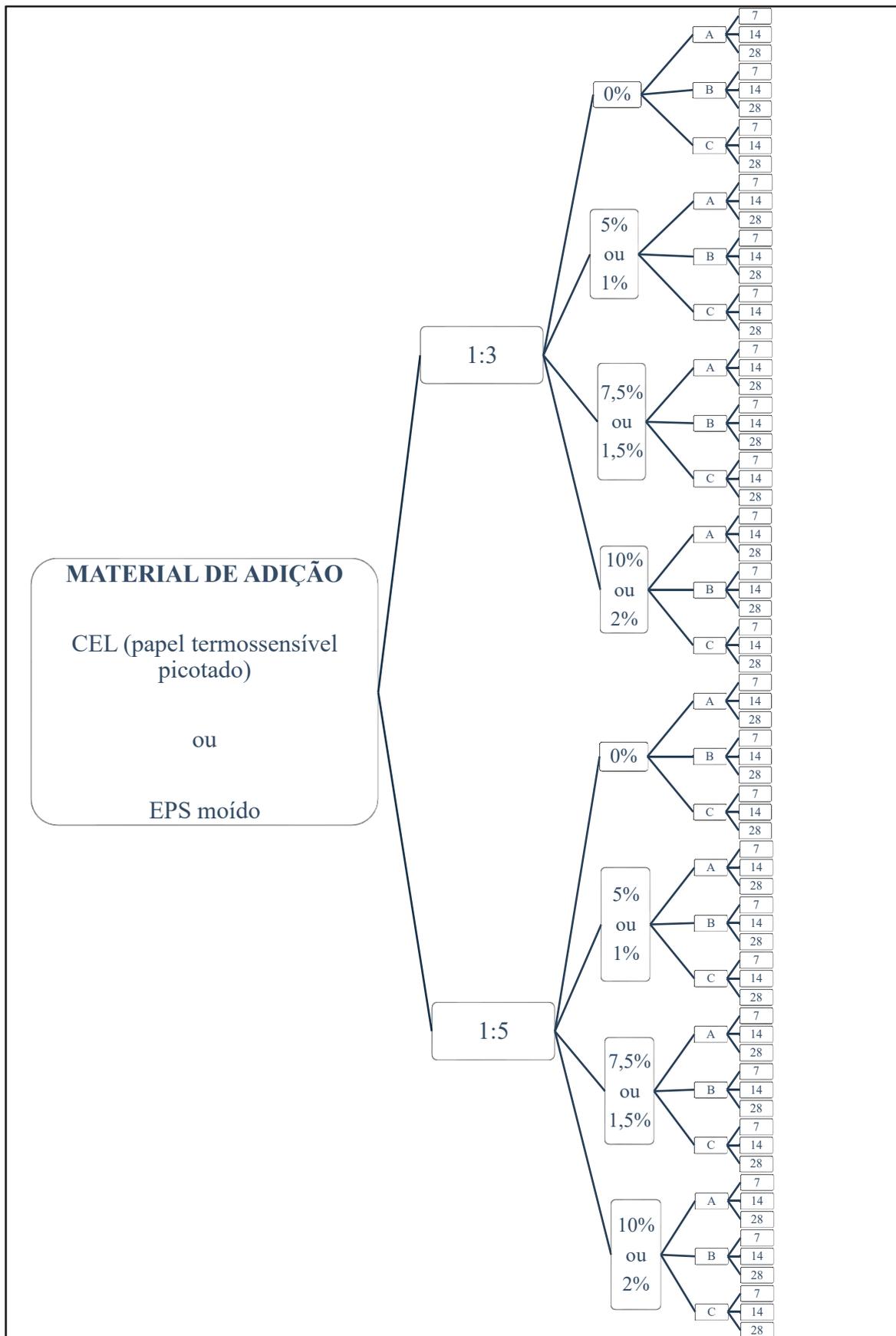


FONTE: A autora (2022)

O experimento foi delineado tendo como partida os dois materiais mencionados com 2 níveis de traço base padrão (1:3 e 1:5 para cimento e areia). Para cada traço padrão, foram definidos 4 níveis de adição (em porcentagem e em massa) de cada material, CEL ou EPS. Dos 4 níveis propostos, um deles foi considerado como padrão para comparação, sem adições de materiais alternativos. Também foram consideradas 3 réplicas para cada amostra de compósito que foram ensaiadas em 3 idades diferentes (7, 14 e 28 dias). Para refinar a análise dos resultados, foram delineados 2 experimentos separados e independentes para os 2 tipos de materiais de adição dessa fase. Para que se estabelecessem os teores de adição, bem como a relação água/cimento (a/c) dos compósitos, foram feitos testes de consistência para os traços padrão (1:3 e 1:5).

Para melhor representar a dimensão da FASE II, a FIGURA 19 apresenta o delineamento do experimento dessa fase.

FIGURA - 19. DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO DA FASE II



FONTE: A autora (2022)

Como se pôde observar na FIGURA 19, experimento foi delineado considerando dois tipos de materiais de rejeitos, o papel termossensível picotado (CEL) e o EPS triturado com 2 níveis de traço padrão dado em massa (1:3 e 1:5 para cimento e areia, com  $a/c = 0,7$ ), 4 níveis de traço, em massa, com adições: CEL (0%, 5%, 7,5% e 10%) e EPS (0%, 1%, 1,5% e 2%) com 3 réplicas para cada amostra de compósito e 3 idades de testes (7, 14 e 28 dias).

Após estabelecida a proporção  $a/c$  em 0,7, foram feitas as definições dos teores de adição tomando-se como base, os resultados obtidos na FASE I. Para o papel termossensível, foram propostas misturas com traços mais equilibrados que a fase anterior, adicionando-se a areia em sua composição e com a quantidade de água, ajustada para a nova fase. Optou-se pela manutenção de teores de base já experimentados, porém, reduzidos a 3 desses teores. Dessa forma, para as adições de fibras de celulose de papel termossensível, definiram-se os valores de 5%, 7,5% e 10%. Para o EPS, o método de escolha foi similar, no entanto, como os traços de base continham mais areia que nos traços da fase anterior, foi feito o ajuste nos teores para evitar que o compósito se apresentasse muito seco. Assim, os teores de EPS para esse experimento foram definidos com 1%, 1,5% e 2% de adição desse material à matriz cimentícia.

Essa organização considerou a separação dos resultados por compósitos em 2 experimentos individuais para que se pudessem ser avaliados os resultados individuais de cada compósito. O intuito foi o de se fazer a melhor escolha para a FASE III do experimento para cada material de adição, quando um novo material retirado dos resíduos sólidos urbanos também foi considerado, a fibra de PET em formato de manta.

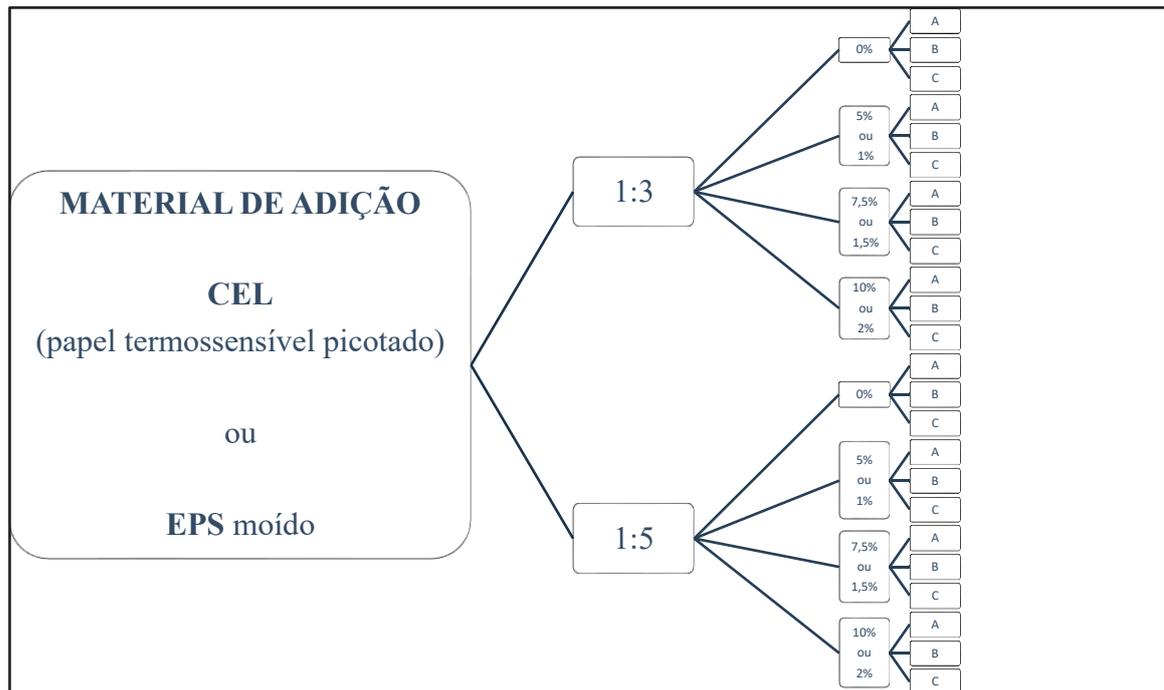
Para a realização de todos os testes propostos, foi necessário fazer a moldagem de 144 corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm e, para os testes de retração foram moldadas mais 48 barras de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm. Dessa forma, os experimentos da FASE II ficaram organizados em 2 experimentos descritos como:

E1 – CEL  $\rightarrow$  1:3 + 1:5 (com teores de adição de 0%, 5%, 7,5% e 10%)

E2 – EPS  $\rightarrow$  1:3 + 1:5 (com teores de adição de 0%, 1%, 1,5% e 2%)

Os testes dos corpos de prova moldados incluíram a verificação da variação dimensional dos compósitos no estado seco. A FIGURA 20 representa a organização de moldagens para as barras de retração para cada mistura proposta.

FIGURA - 20. MAPA DE MOLDAGENS DAS BARRAS DE RETRAÇÃO (NBR15261:2005)



FONTE: A autora (2022)

De acordo com a NBR15261 (ABNT, 2005), para os cálculos da variação dimensional, foram moldadas 3 réplicas para cada grupo de corpos de prova moldados para os ensaios mecânicos, dessa forma, foram obtidas 48 barras.

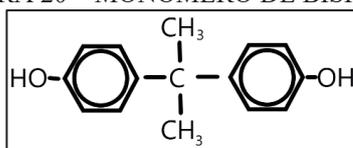
### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os compósitos estudados nessa fase foram extraídos da fase anterior. Os compósitos com adições de fibras de celulose e de partículas de EPS foram compostos de uma matriz cimentícia (CP II Z 32 + areia fina) na proporção, em massa, de 1:3 e 1:5, com a relação a/c de 0,7.

#### 3.1 Compósitos de Papel termossensível

Os compósitos dessa fase foram escolhidos para os testes a partir da possibilidade de se encontrarem soluções para a disposição alternativa dos materiais de adição dos novos compósitos. As misturas foram obtidas a partir da adição de teores preestabelecidos de aparas de papel termossensível à uma matriz cimentícia conforme já apresentadas no item 3.3.3.1.

FIGURA 20 – MONÔMERO DE BISFENOL



FONTE: Adaptada de Meldau (2009).

O papel termossensível recebe um tratamento para impressão térmica com a substância chamada Bisfenol – A, ou BPA. Sendo o BPA um monômero (FIGURA 20), geralmente empregado na fabricação de embalagens de alimentos, é também utilizado na produção de plásticos e resinas e pode ser nocivo para a saúde.

Considerou-se neste estudo a possibilidade de que, ao incorporarem-se as aparas à matriz cimentícia para a produção de peças para a construção civil, seriam alcançados resultados em que o BPA pudesse se degradar ou ser neutralizado por encapsulamento. Esse procedimento poderia resultar em ganhos para o meio ambiente, bem como economia no uso de cimento, conferindo volume e desempenho aos produtos esperados.

### 3.2 Compósitos de Poliestireno Expandido – EPS

Os compósitos que se constituíram de adição de EPS moído foram escolhidos para essa fase porque, após a expansão, com o volume aumentado por até 98% de ar e somente 2% de poliestireno, as células fechadas e repletas de ar constituíram leveza ao material. Dessa forma, as placas produzidas a partir desse compósito poderiam ser utilizadas para áreas em que não se tenha capacidade de carga elevada na estrutura de uma edificação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises dos resultados dos experimentos delineados demonstraram que os resultados dos traços 1:3 e 1:5 deveriam ser analisados separadamente como experimento independentes e depois entre si.

Na análise do experimento E1 (CEL → 1:3 e 1:5) os resultados foram tratados estatisticamente.

Ao se observarem os resultados da análise da estatística descritiva, foi possível estudar os resultados para as tensões de resistência à tração na flexão (TF-tensão máx) e para a resistência à compressão (COMP-tensão máx) como resultados principais para a escolha do melhor compósito, com vistas a atingir resultados absolutos semelhantes aos requisitos de desempenho exigidos pela NBR15498 (ABNT, 2016).

## 4.1 EXPERIMENTO 1 – CEL – APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL

FATOR TRAÇO – 2 níveis (1:3 e 1:5)

FATOR % DE ADIÇÃO – 4 níveis (0%, 5%, 7,5%, 10%)

FATOR IDADE – 3 níveis (7, 14, 28) dias

REPETIÇÕES – 3 réplicas

Para a apresentação dos resultados desse experimento, foram preparadas 2 tabelas. A TABELA 16 para os resultados referentes aos compósitos no traço base 1:3 e a TABELA 17 para os resultados dos compósitos preparados com o traço base 1:5.

TABELA 16. RESULTADOS MÉDIOS DO EXPERIMENTO 1 AOS 28 DIAS – APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL - TRAÇO BASE 1:3

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO				
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA cm	DENSIDADE (estado fresco) g/cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM m/s	Res. à tração na flexão Tensão máxima (MPa)	Res. à compressão Tensão máxima (MPa)
Sp1	0%	31	1,916	3463	4,42	19,05
Sp2	5%	17	1,614	2726	3,93	12,73
Sp3	7,5%	27	1,582	2873	3,42	11,83
Sp4	10%	31	1,538	2122	2,97	7,22

FONTE: A autora (2022)

TABELA 17. RESULTADOS MÉDIOS DO EXPERIMENTO 1 AOS 28 DIAS – APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL - TRAÇO BASE 1:5

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO				
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA cm	DENSIDADE (estado fresco) g/cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM m/s	Res. à tração na flexão Tensão máxima (MPa)	Res. à compressão Tensão máxima (MPa)
Sp1	0%	16	2,055	3206	5,37	21,56
Sp2	5%	29	1,964	2914	2,15	9,28
Sp3	7,50%	22	1,823	2556	1,48	11,86
Sp4	10%	28	1,519	1618	1,67	5,16

FONTE: A autora (2022)

a. **CONSISTÊNCIA:** Observando o comportamento dos compósitos com traço 1:3 foi possível perceber que os índices do Sp2 e Sp3, menores que o Sp1, indicaram que os compósitos ficaram mais consistentes que o padrão.

FIGURA 33. TESTE DE CONSISTÊNCIA TRAÇO 1:3 PAPEL TERMOSENSÍVEL



FONTE: A autora (2022)

O comportamento do Sp4 (com 10% de adição) teve índice de consistência igual à do Sp1 (padrão), no entanto, o espalhamento se deu por desmoronamento das partículas e não por fluidez da massa (FIGURA 33).

FIGURA 34. TESTE DE CONSISTÊNCIA TRAÇO 1:5 PAPEL TERMOSENSÍVEL



FONTE: A autora (2022)

Sendo o traço base 1:5 já bastante seco em função da proporção de secos com a água, o índice do Sp1 foi de 16cm, apresentando partículas espalhadas sobre a mesa de consistência. A adição de teores de papel termossensível picotado aos compósitos nesse traço base, levou a valores de índices maiores que o do padrão sem adições dessa série. A adição de material seco a ser hidratado aumentou e isso colaborou com a absorção da água da mistura, deixando o material menos coeso. Conforme apresentado na FIGURA 34, o desmoronamento das partículas durante a execução do ensaio, gerou os índices maiores que os do compósito padrão, sem adições, dessa série.

b. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** nesse item estão as análises dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão.

#### i. TRAÇÃO NA FLEXÃO

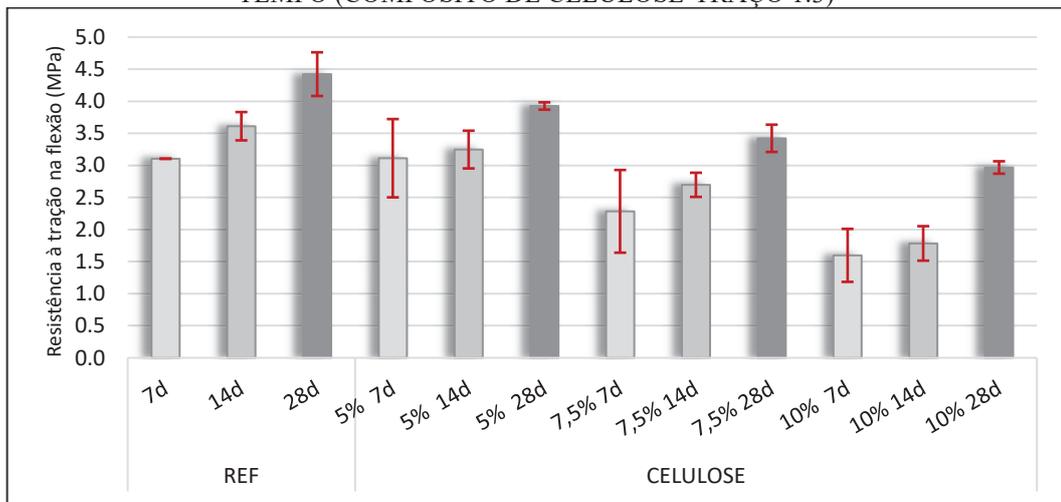
Para analisar o comportamento dos compósitos, foram feitas análises das suas médias e apresentadas por meio de gráficos.

A FIGURA 21 mostra os valores médios de tração na flexão aos 7, 14 e 28 dias após a

moldagem. Verifica-se que os valores médios da resistência dos compósitos ficaram menores na medida em que foram adicionados os materiais feitos à base de rejeitos. Como as partículas não hidratadas de cimento continuam a formar produtos de hidratação ao longo do tempo, os gráficos demonstram que os compósitos, de uma forma geral, têm a resistência aumentando com a idade. A hidratação do cimento Portland tende a reduzir o tamanho e o volume total de vazios.

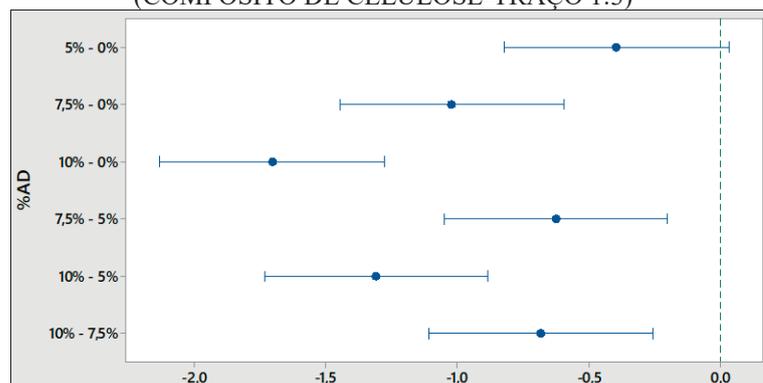
No entanto, no teste de Tukey (FIGURA 22), algumas particularidades se evidenciaram. São comparados os possíveis pares de médias com base na diferença entre elas. Se um intervalo não contém o “zero”, as respectivas médias são significativamente diferentes com 95% de confiança. Nos diferentes teores de adição, as evidências encontradas no teste levaram perceber diferenças significativas entre as misturas. Apenas o compósito com o teor de 5% de adição apresentou sinais de similaridade com o compósito de referência, sem adição de material alternativo, usado como padrão de comparação nessa pesquisa.

FIGURA - 21. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE CELULOSE-TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022)

FIGURA – 22. TESTE DE TUKEY PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO (COMPÓSITO DE CELULOSE-TRAÇO 1:3)

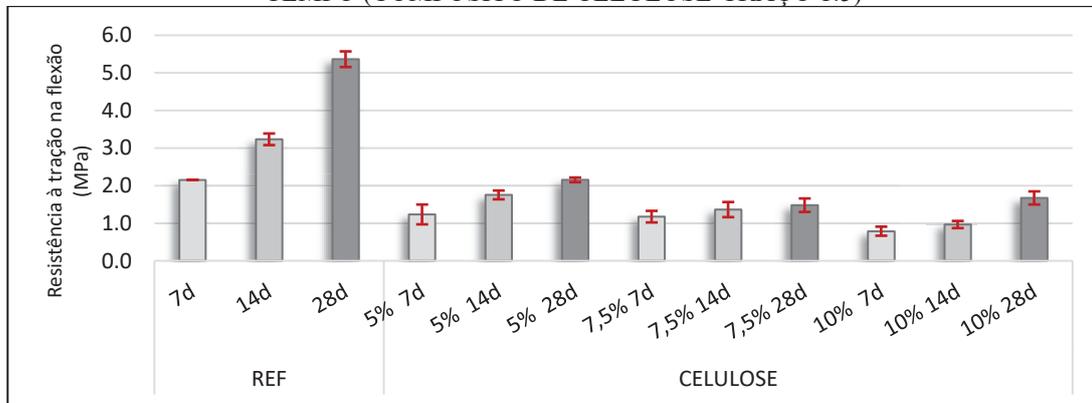


FONTE: A autora (2022)

Com base representação gráfica da FIGURA 23, pôde-se perceber que o comportamento relacionado à idade e aos teores de adição dos compósitos com traço base de 1:5 foi semelhante aos do traço base 1:3. No entanto, foi perceptível que os resultados encontrados no traço base de 1:5 foram menores nos 3 níveis de adição de material de rejeitos.

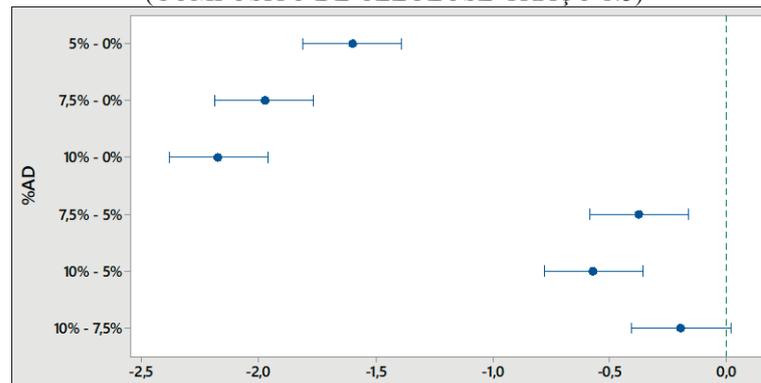
Quanto às comparações por pares, a FIGURA 24 mostrou que o único par de médias que tem similaridade é o que contém os resultados dos compósitos com teor de adição de [10% - 7,5%]. Quanto aos demais pares de médias analisados, para os diferentes níveis de adição, todos apresentam diferenças significativas na análise estatística.

FIGURA - 23. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE CELULOSE-TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022)

FIGURA – 24. TESTE DE TUKEY POR %AD PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO (COMPÓSITO DE CELULOSE-TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022)

Os gráficos de interação dos efeitos principais, demonstrados na FIGURA 25, mostraram que os resultados dos compósitos com traço base 1:3 ficaram maiores na medida em que aumentou a idade dos compósitos, indicando que ganharam resistência ao longo do tempo.

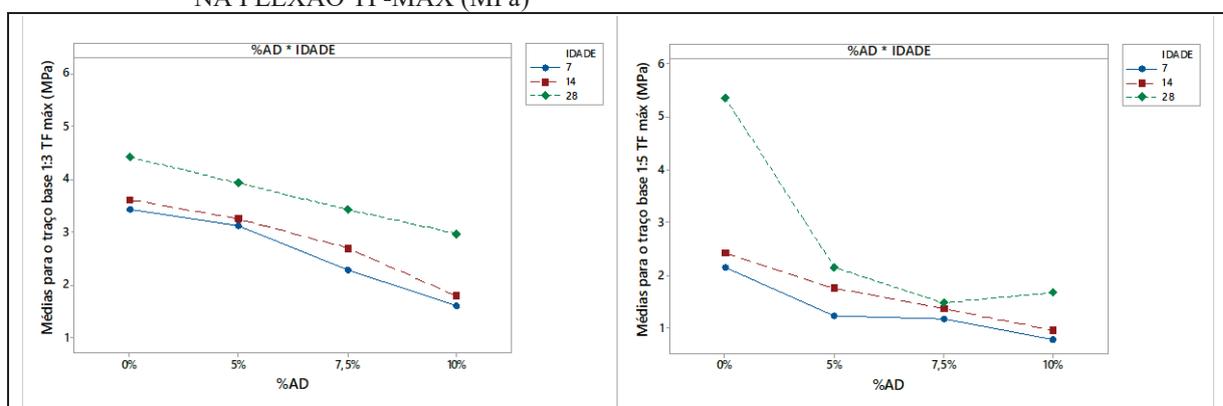
Da mesma forma, observou-se que os compósitos com traço base 1:5 tiveram resultados menores de resistência à tração na flexão quanto maior foi o teor de adição e que se

mantiveram crescentes as médias por teor de adição ao longo do tempo.

Embora o compósito sem adições no traço 1:5 tenha tido resultado individual superior ao dos demais aos 28 dias, os resultados médios do traço 1:3 foram superiores aos do traço 1:5, conforme se demonstra na FIGURA 25.

Sendo assim, para o caso das adições de celulose, somente os compósitos com %AD 5% e %AD 7,5% aos 28 dias de idade no traço base 1:3, chegaram ao valor de referência de 2,8 MPa como resultado mínimo exigido pela norma técnica brasileira adotada para este estudo.

FIGURA - 25. GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO TF-MÁX (MPa)

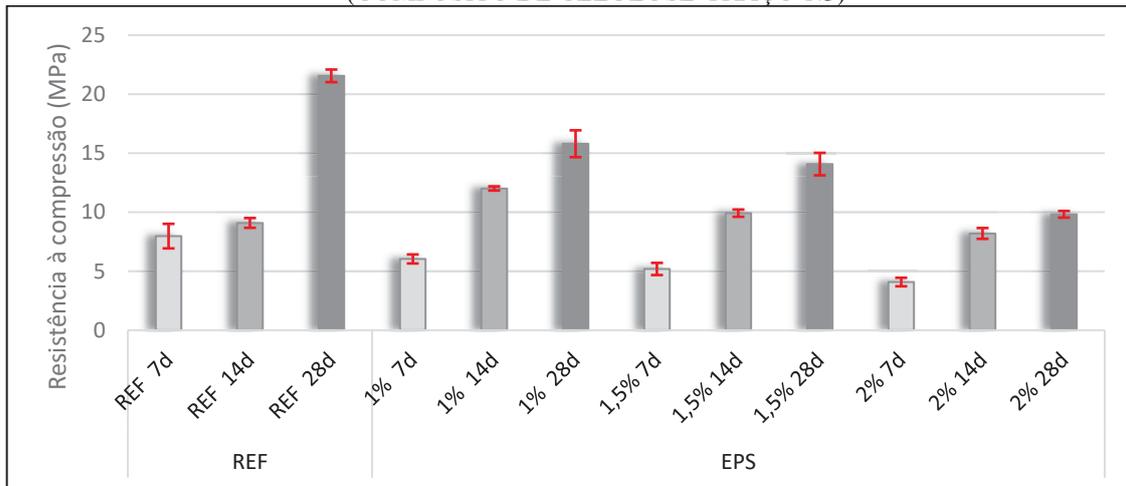


FONTE: A autora (2022).

## ii. COMPRESSÃO

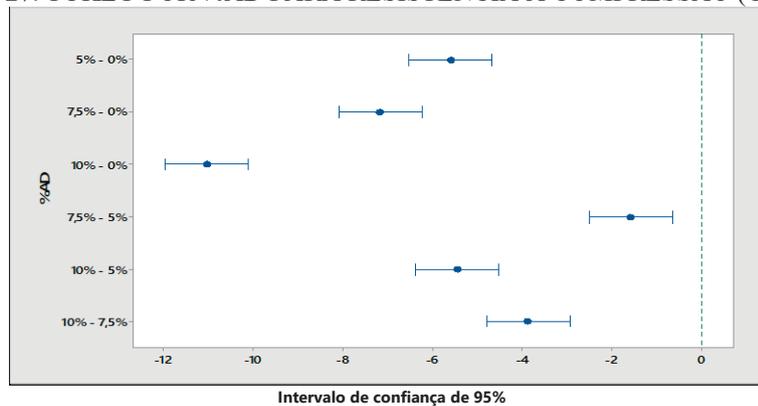
A norma técnica não se refere aos testes de resistência à compressão, nesta pesquisa eles foram realizados com o intuito de fazer a caracterização geral dos compósitos propostos. A FIGURA 26 apresenta os gráficos de comparação dos resultados médios dos testes de resistência à compressão para o traço 1:3. Pôde-se perceber que a idade tem influência no resultado, pois quanto maior a idade, maior o resultado obtido. Aqui também se explica o fenômeno com base nos processos de hidratação do cimento Portland e pela consequente diminuição de vazios. Notou-se ainda, que à medida em que se aumentaram os teores de adição de material alternativo, os resultados médios diminuíram. Para explicar essa resposta, buscou-se na literatura a justificativa para o comportamento, no entanto, não foram encontrados trabalhos semelhantes em que se pudessem embasar a análise. O material de adição utilizado neste estudo, o papel termossensível, ainda não foi alvo de outros estudos nessa mesma linha. A FIGURA 27 apresenta a análise de Tukey demonstrando graficamente, que todas as comparações das médias têm indícios de diferenças significativas.

FIGURA – 26. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE CELULOSE-TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022).

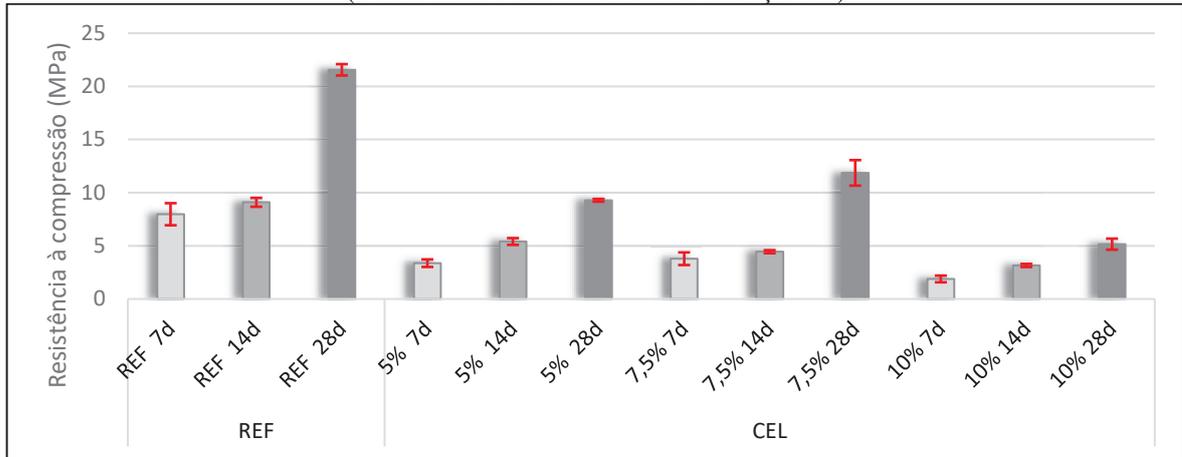
FIGURA - 27. TUKEY POR %AD PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (CELULOSE-TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022).

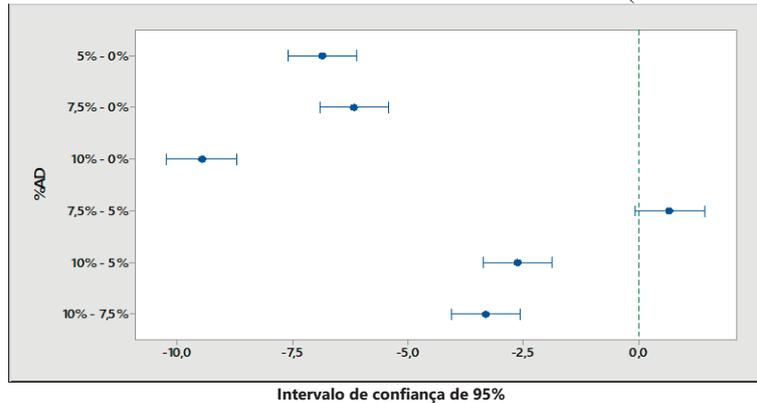
A FIGURA 28 apresentou os gráficos de comparação dos resultados médios dos testes de resistência à compressão para o traço 1:5. Novamente comprovou-se que a idade influenciou nos resultados que ficaram maiores na medida em que o tempo passou. Notou-se ainda, que aos 28 dias o resultado médio do compósito com 7,5% de adição foi maior que o do compósito com 5% de adição. A FIGURA 29 apresentou a análise de Tukey em que se demonstraram graficamente as comparações das médias, a similaridade estatística do par de compósitos com [7,5% - 5%] de adição e as evidências das diferenças significativas entre as demais comparações pareadas.

FIGURA - 28. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE CELULOSE-TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022).

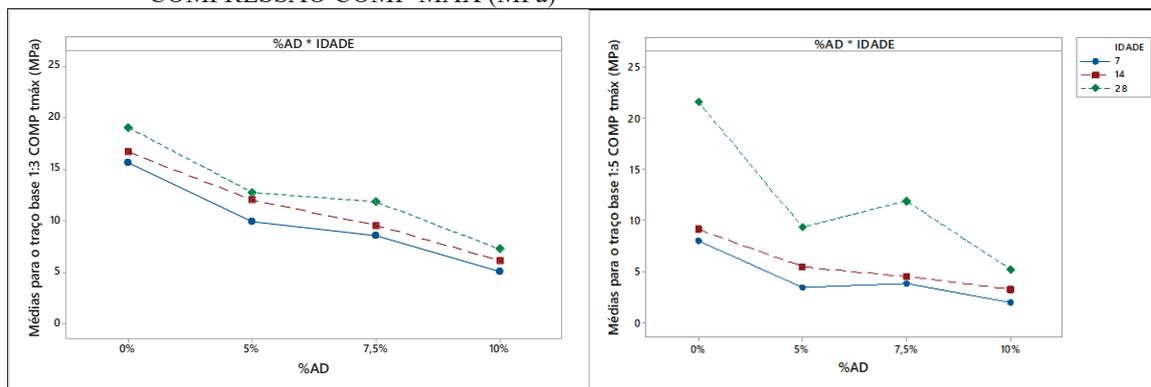
FIGURA - 29. TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (CELULOSE-TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022).

Observando-se os gráficos de interação dos efeitos principais representados na FIGURA 30 foi possível perceber, mais uma vez, que os resultados ficaram maiores na medida em que aumentou a idade compósitos. Nos compósitos com o traço base de 1:5 os resultados do compósito com 7,5% de adição foram superiores ao de 5% de adição. A mesma coisa não ocorreu com os compósitos na base de 1:3. Para cada compósito proposto, notou-se a queda de valores de resistência à compressão na medida em que se aumentaram os teores de adição, com exceção do compósito de traço base 1:5 com 7,5% de adição, que teve resultado superior ao do compósito com 5% de adição. Não há referências quanto ao comportamento de resistência à tensão de resistência à compressão na norma brasileira nem nas internacionais citadas para as placas de fibrocimento. Sendo assim, para essa análise, levaram-se em conta os maiores valores de resistência à compressão encontrados como sendo os melhores resultados. Nesse caso, descontando-se os compósitos sem teores de adição, os compósitos com 5% e 7,5% de adição no traço base 1:3.

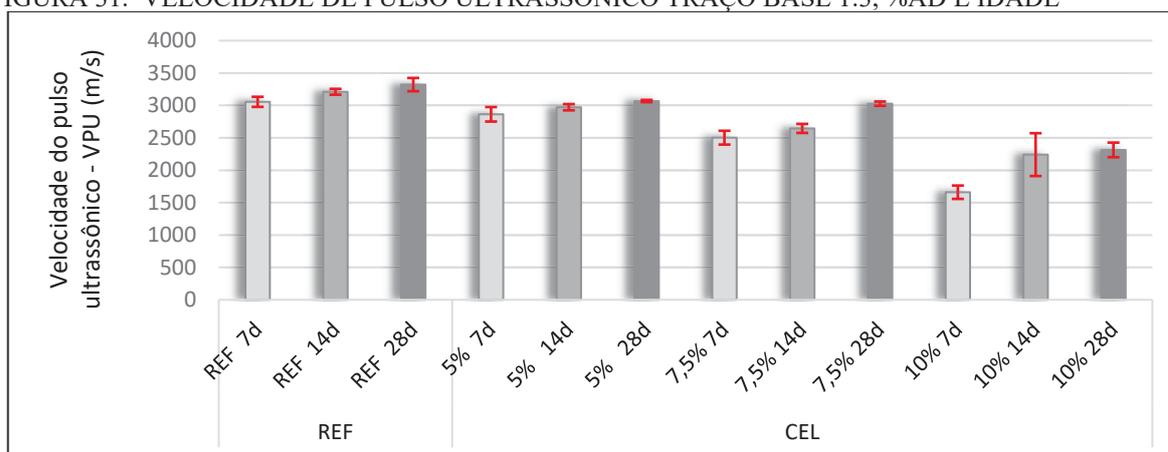
FIGURA - 30. GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COMP-MÁX (MPa)



FONTE: A autora (2022)

**ULTRASSOM:** é possível determinar as propriedades mecânicas dos materiais por meio do ensaio não destrutivo de propagação do pulso ultrassônico (VPU). As propriedades mecânicas dos compósitos são influenciadas pela microestrutura do material, que são compostas por agregados, produtos de hidratação do cimento e poros (MENEZES et al, 2016). De acordo com a ASTM 114, uma tecnologia viável a diagnóstico de estruturas é o ensaio de velocidade de pulso ultrassônico. Por meio desse ensaio pode-se caracterizar o material, avaliar a sua integridade além disso, estimar a resistência à compressão bem como o módulo de elasticidade. Conforme se demonstra na FIGURA 31, com o passar do tempo, houve um aumento da VPU para todos os teores de adição. Considerando o que observaram Godinho et al (2020) em seu trabalho que analisou os fatores de influência na velocidade de VPU no concreto, pode-se traçar um olhar paralelo para os compósitos aqui apresentados. Assim, considera-se que as reações do processo de hidratação do cimento Portland têm características que explicam o aumento dos valores de VPU conforme a idade dos corpos de prova aumentou. No entanto, na medida em que se adicionaram as fibras, diminuíram os valores da VPU quando comparadas as mesmas idades para as diferentes misturas. Para explicar esse comportamento, considera-se que a adição de celulose proveniente de papel termossensível tenha conferido maior porosidade às misturas. As micrografias já apresentadas mostraram que a estrutura interna dos compósitos com adição de aparas de papel termossensível têm formações de emaranhados de fibras. Não foram encontrados trabalhos semelhantes que pudessem corroborar essa análise.

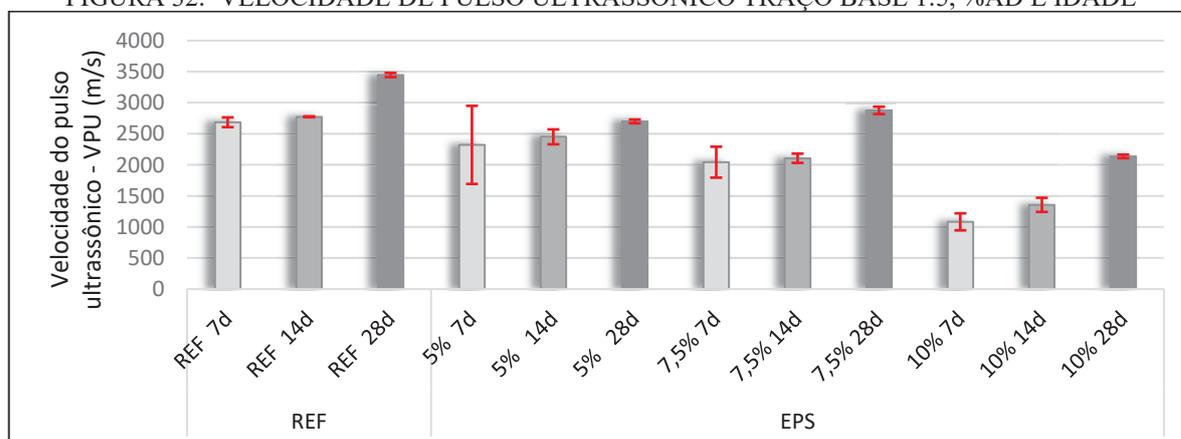
FIGURA 31. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:3, %AD E IDADE



FONTE: A autora (2022).

Os resultados dos testes de ultrassom aos 28 dias demonstram que a VPU do espécime com traço base 1:5, padrão 0% foi a mais alta aos 28 dias, conforme se demonstra na FIGURA 32. Porém, o comportamento da VPU para o material celulose no teor de adição de 7,5%, apesar de ter sido menor nas idades de 7 e 14 dias em relação aos corpos de prova com 5% de adição, aos 28 dias o resultado foi maior. Consta na NBR 8802:19 que vários fatores podem influenciar as medições do ensaio de VPU, dentre eles, a presença de armaduras, fissuras e as características intrínsecas, como o tipo de cimento, umidade e forma das peças a serem ensaiadas. A cura desses corpos de prova foi em câmara seca e, embora se esperasse maior porosidade, em qualquer estágio de hidratação, a pasta endurecida tem gel, cristais de hidróxido de cálcio, alguns componentes menores, cimento não hidratado e o resíduo dos espaços preenchidos com água na pasta fresca. Em outras palavras, nesse caso, parte do cimento pode não ter se hidratado, porém o próprio gel pode ter ocupado o espaço disponível (NEVILLE, 2012).

FIGURA 32. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:5, %AD E IDADE



FONTE: A autora (2022).

c. **MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO:** Com os valores de velocidade de propagação da onda ultrassônica aos 28 dias, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico baseando-se na NBR 15630:08 que é definido por:

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu}$$

Onde:

$E_d$  é o módulo de elasticidade dinâmico, expresso em megapascals (MPa);

$v$  é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por microssegundos (mm/μs);

$\rho$  é a densidade de massa aparente do corpo de prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

$\mu$  é o coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor 0,2

TABELA 22 - VALORES DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO PELA VPU - CELULOSE

TRAÇO: 1:3			TRAÇO: 1:5		
IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS		ENSAIO/RESULTADO	IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSTOS		ENSAIO/RESULTADO
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)	Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)
Sp1	0%	20,21	Sp1	0%	20,66
Sp2	5%	16,71	Sp2	5%	10,52
Sp3	7,5%	15,05	Sp3	7,5%	11,74
Sp4	10%	7,36	Sp4	10%	6,30

FONTE: A autora (2022)

Das fibras de aço se esperam efeitos positivos quanto ao módulo de elasticidade, conforme afirma Sandrinejad et al (2018), ou como de Zhou et al (2018) que desenvolveram compósitos com altíssimo desempenho. No entanto, para isso, as fibras devem ter o módulo de elasticidade maior que o da matriz. Segundo Silva Neto (2018), essa é uma condição difícil de se conseguir na maioria das fibras sintéticas. A TABELA 22 apresentou os valores do módulo de elasticidade dinâmico pela VPU. Esse resultado demonstra que o material com fibras ficou com os valores do modulo de elasticidade mais baixos que os sem adições.

d. **VARIAÇÃO DIMENSIONAL:** a variação dimensional foi calculada a partir das recomendações da NBR15261:05 da ABNT. A expressão da norma é dada por:

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_0}{0,25}$$

Onde:

$\varepsilon_i$  é a medida da variação dimensional, caracterizada como retração (quando negativa) ou expansão (quando positiva), na idade “i”, arredondada ao centésimo mais próximo, em milímetros por metro;

$L_i$  é a leitura efetuada na idade final, em milímetros;

$L_0$  é a leitura efetuada após a desforma, em milímetros;

$i$  é a idade de leitura

Além disso, a norma apresenta a equação para se calcular a variação de massa como:

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} 100$$

Onde:

$\Delta m$  é a variação de massa, arredondada ao décimo mais próximo, em porcentagem;

$m_i$  é a massa na idade final, em gramas;

$m_0$  é a massa após a desforma do corpo de prova, em gramas;

A variação dimensional dos corpos de prova teve os resultados apresentados na TABELA 23 e na FIGURA 37, com leituras a partir das recomendações normativas ao 1°, 7° e 28° dias.

TABELA 23. COMPARAÇÃO PERCENTUAL DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL – CELULOSE

Relação entre a variação dimensional da desforma ao 1°, 7° e 28° dia (mm/m)

Traço	Intervalo observado	Percentual de adição de material			
		0%	5,0%	7,5%	10,0%
1:3	desforma/1dia	-0,30	-0,22	0,02	0,08
	desforma/7dias	-0,41	-1,43	0,07	0,17
	desforma/28 dias	-0,89	-1,43	0,09	0,14
1:5	desforma/1dia	-0,35	-0,13	-0,39	-0,27
	desforma/7dias	-0,55	-0,17	-0,72	-0,38
	desforma/28 dias	-0,62	-1,21	-1,11	-0,82

FONTE: A autora (2022)

Considerando os valores da TABELA 23, foram feitos testes de comparação por pares. Os testes indicaram semelhanças apenas entre médias do par [7,5% – 10%] aos 7 e aos 28 dias. Entre todos os demais, foram encontradas diferenças significativas denotando o diferente comportamento de cada espécime testado com os diferentes teores de adição.

No caso do traço base de 1:5, na observação por pares por dia de leitura, do primeiro ao 28° dia, todos os valores de todos os teores foram considerados sem diferenças significativas. Isso indicou maior estabilidade no comportamento dos compósitos do traço de base 1:5 com adição de aparas de papel termossensível.

Na comparação entre todos os corpos de prova, considerando os dois traços de base (1:3 e 1:5), não foram encontradas diferenças significativas. E apesar de se ter maior proporção de cimento no traço de base 1:3, não houve maior índice de retração nessa série. De acordo com o trabalho de Borges, (2019), o incremento de fibras naturais pode levar à diminuição da retração no concreto, nesse caso, considerou-se que as fibras de celulose provenientes das aparas do papel termossensível contribuíram para a estabilidade dos compósitos.

## 4.2 EXPERIMENTO 2 – EPS – POLIESTIRENO EXPANDIDO TRITURADO

FATOR TRAÇO – 2 níveis (1:3 e 1:5)

FATOR % DE ADIÇÃO – 4 níveis (0%, 1%, 1,5%, 2%)

FATOR IDADE – 3 níveis (7, 14, 28) dias

REPETIÇÕES – 3 réplicas

Para a apresentação dos resultados desse experimento, foram preparadas 2 tabelas. A TABELA 24 e a TABELA 25 para os resultados referentes aos compósitos no traço base 1:3 para os resultados dos compósitos preparados com o traço base 1:5, respectivamente.

TABELA 24. RESULTADOS DO EXPERIMENTO 2 – POLIESTIRENO EXPANDIDO - TRAÇO BASE 1:3

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA cm	DENSIDADE (estado fresco) g/cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM		Res. à tração na flexão Tensão máxima (MPa)	Res. à compressão Tensão máxima (MPa)
				μs	m/s		
Sp1	0%	16	1,916	46,2	3463	4,42	19,05
Sp2	1%	25	1,767	58,7	2726	2,78	11,68
Sp3	1,5%	25	1,698	55,7	2873	2,69	8,61
Sp4	2%	26	1,613	75,4	2122	2,40	6,90

FONTE: A autora (2022)

TABELA 25. RESULTADOS DO EXPERIMENTO 2 – POLIESTIRENO EXPANDIDO - TRAÇO BASE 1:5

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA cm	DENSIDADE (estado fresco) g/cm <sup>3</sup>	ULTRASSOM		Res. à tração na flexão Tensão máxima (MPa)	Res. à compressão Tensão máxima (MPa)
				μs	m/s		
Sp1	0%	31	2,055	49,9	3206	5,37	21,55
Sp2	1%	25	1,818	50,6	3162	4,12	15,80
Sp3	1,5%	23	1,690	54,2	2952	3,83	14,08
Sp4	2%	20	1,607	58,9	2716	3,14	9,82

FONTE: A autora (2022)

- a. **CONSISTÊNCIA:** Observando-se o comportamento dos compósitos que foram considerados com o maior resultado absoluto, no traço base 1:3, foi possível perceber que as misturas com adições de EPS, alcançaram índices com valores menores que o do padrão. Esses valores, indicaram que os compósitos ficaram mais consistentes que a mistura de referência, já citados na TABELA 24.

Ao se observar a FIGURA 33, é possível perceber que esse comportamento denotou que apesar das adições de partículas de EPS, ainda havia coesão, pois o material adicionado não absorveu a água da mistura e o formato arredondado das partículas manteve a

consistência e a plasticidade da massa.

FIGURA 33. TESTE DE CONSISTÊNCIA TRAÇO 1:3 EPS



FONTE: A autora (2022)

Já para os compósitos com o traço base 1:5 encontraram-se valores dos índices, maiores que o do padrão (0%), TABELA 25, p23. O próprio traço base já apresentou textura mais seca com índice de consistência de 16cm, com partículas espalhadas pela mesa de ensaio, durante o teste de consistência. Nesse caso, os compósitos com maiores teores de adição de EPS picado ficaram ainda mais secos e menos coesos.

Ao observarem-se as imagens da FIGURA 34, foi possível perceber que esse comportamento denotou que o espalhamento se deu por desmoronamento, por falta de coesão entre as partículas, e não por espalhamento uniforme ou fluidez da massa. Além disso, foi possível notar que a presença de maior quantidade de areia fez com que ao se misturarem os materiais, as pequenas esferas de EPS, devido à abrasão do movimento dos misturadores, se deformassem e absorvessem mais água, contribuindo para que a mistura ficasse com o aspecto ainda mais seco.

FIGURA 34. TESTE DE CONSISTÊNCIA TRAÇO 1:5 EPS



FONTE: A autora (2022)

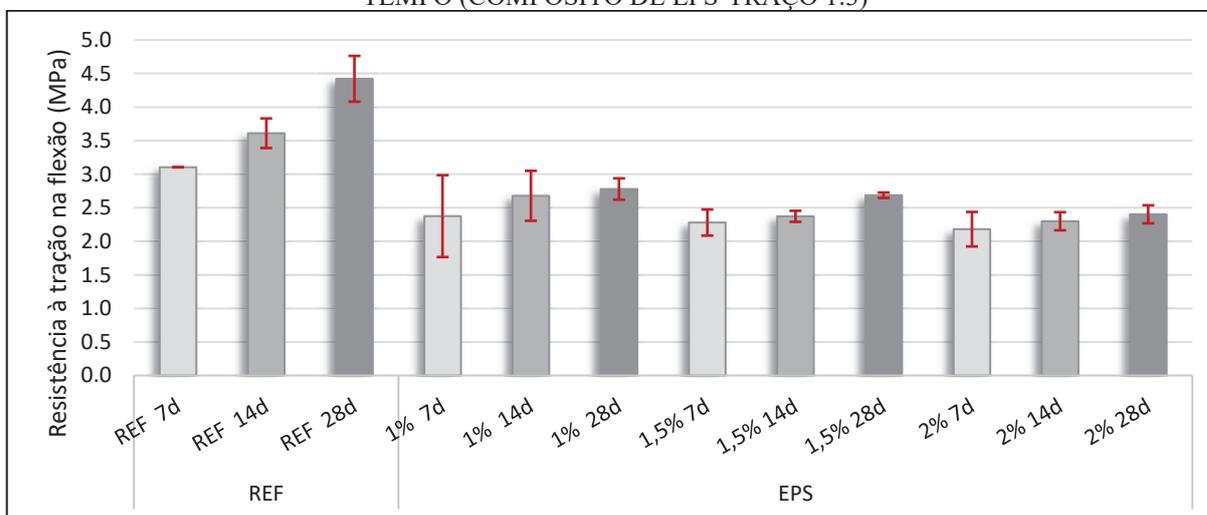
b. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** nesse item estão as análises dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão.

i. **TRAÇÃO NA FLEXÃO**

Para analisar o comportamento dos compósitos, foram feitas análises das suas médias e apresentadas por meio de gráficos. As médias dos compósitos ficaram menores na medida

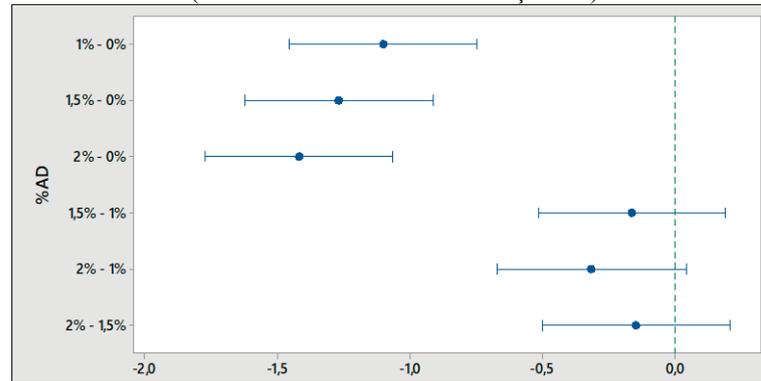
em que foram adicionados os materiais feitos à base de EPS. Segundo Tang et al (2008), quando em seu estudo adicionaram o EPS na faixa de 20 e 60% de volume houve redução nos valores relativos à resistência mecânica. Esses autores consideram que o fenômeno ocorre devido à concentração do EPS como agregado e a explicação pode estar no aumento de teor de ar que, apesar de melhorar a trabalhabilidade, as bolhas de ar esféricas fariam o papel de um agregado miúdo. As esferas do EPS têm, segundo Neville (1994), baixo atrito superficial e são altamente compressíveis. Além disso, quanto mais ar aprisionado, maior a quantidade de vazios e com isso, menor a resistência do compósito. A FIGURA 35 demonstra ainda, que apesar disso, as médias individuais por teor de adição para cada compósito, ficaram maiores conforme aumentou-se a idade respectiva de cada um, repetindo-se o mesmo comportamento do experimento anterior, com adição de aparas de papel termossensível. No teste de Tukey (FIGURA 36), foi possível observar que existem similaridades perceptíveis entre os pares de compósitos com as porcentagens de adição de [1,5% - 1%], [2% - 1%] e [2% - 1,5%]. Não foram encontradas semelhanças estatísticas entre os compósitos com adição de material de RSU com os corpos de prova de compósitos sem adição.

FIGURA - 35. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE EPS-TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022)

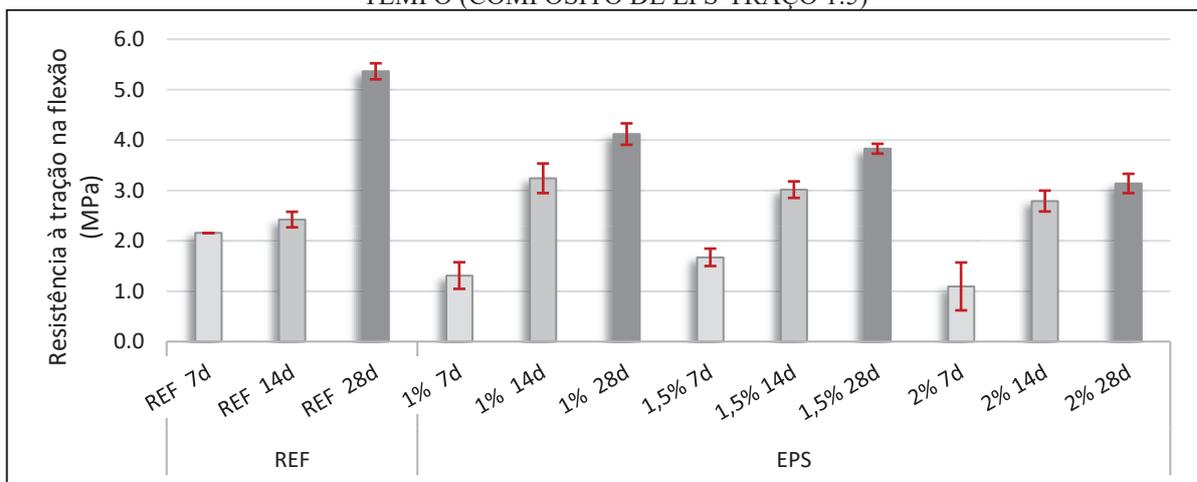
FIGURA – 36. TESTE DE TUKEY POR %AD PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO (COMPÓSITO DE EPS-TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022)

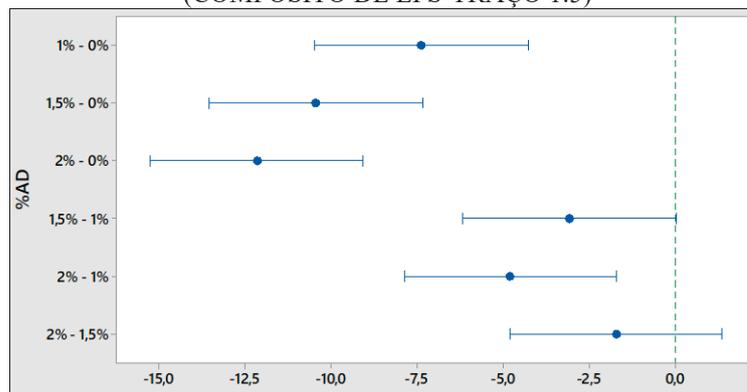
Pode-se perceber com base na representação gráfica da FIGURA 37, que o comportamento relacionado à idade e aos teores de adição dos compósitos com traço base de 1:5 foi semelhante ao do traço base 1:3. Os valores da tensão de resistência à tração na flexão aumentaram com o passar do tempo. No entanto, pode-se perceber que cada grupo de corpos de prova com diferentes teores de adição, teve seus resultados menores para cada idade correspondente na medida em que se aumentaram os teores de adições. Quanto às semelhanças por agrupamento das médias dos resultados, apenas os compósitos com teores de [1,5% - 1%], [2% - 1,5%] de adição de EPS quando comparados entre si obtiveram resultados sem diferenças significativas, conforme se observa na FIGURA 38.

FIGURA - 37. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE EPS-TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022)

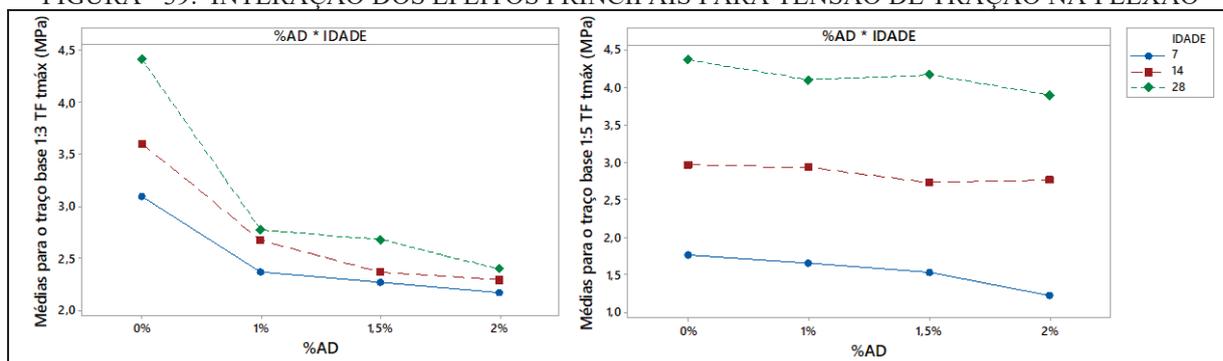
FIGURA – 38. TESTE DE TUKEY PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO (COMPÓSITO DE EPS-TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022)

Pela visualização do gráfico de interação para os efeitos principais individualizados para TRAÇO e %AD, representados na FIGURA 39, é possível perceber uma queda visível dos valores encontrados para a resistência à tração na flexão nos valores dos resultados. É notável que o traço base de 1:3 teve resultados maiores que o traço 1:5 na mistura sem adições. Ressalta-se que os valores médios dos corpos de prova com adição de EPS no traço base 1:3 ficaram abaixo da média geral dos resultados. No entanto, notou-se que os valores dos resultados do teor de 1% e 1,5% do traço de base 1:5 estão próximos aos valores médios e de 2% estão mais distantes. Como se pretendeu alcançar o objetivo de incorporar materiais de rejeitos, e estando os parâmetros mínimos da norma atendidos, a melhor escolha foi para os compósitos elaborados no traço 1:5 com os teores de 1,5% e 2% de adição de EPS.

FIGURA - 39. INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO



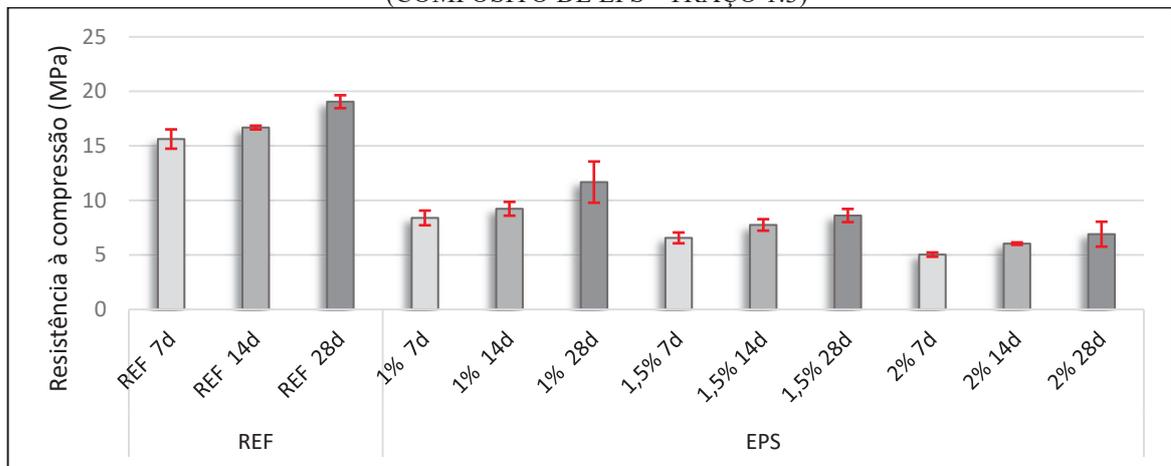
FONTE: A autora (2022).

## ii. COMPRESSÃO

Os resultados dos testes de resistência à compressão já apresentados nas tabelas estão representados por gráficos para a melhor compreensão e visualização por comparação. A

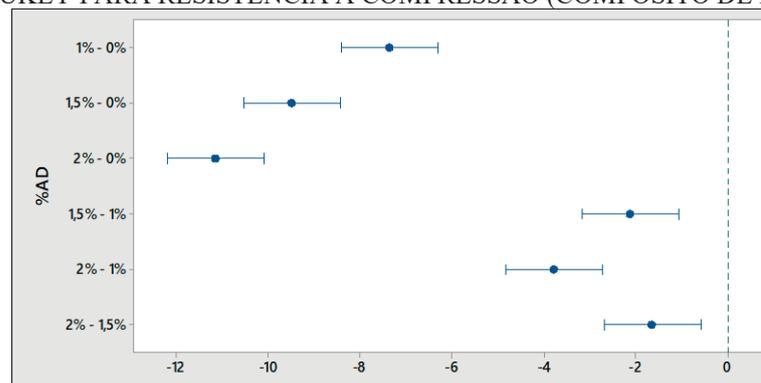
FIGURA 40 permitiu observar o comportamento dos valores médios dos corpos de prova com traço base de 1:3, e deles foi possível perceber que o padrão se repetiu. Na medida em que aumentaram as idades, aumentou a resistência. Esse comportamento está relacionado com as propriedades de hidratação já comentadas. À medida em que aumentou o teor de adição de EPS, os resultados ficaram menores em relação ao padrão de referência, sem adições. Já a FIGURA 41 apresenta as comparações por pares que indica que não há similaridades estatísticas entre os corpos de prova.

FIGURA – 40. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE EPS - TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022).

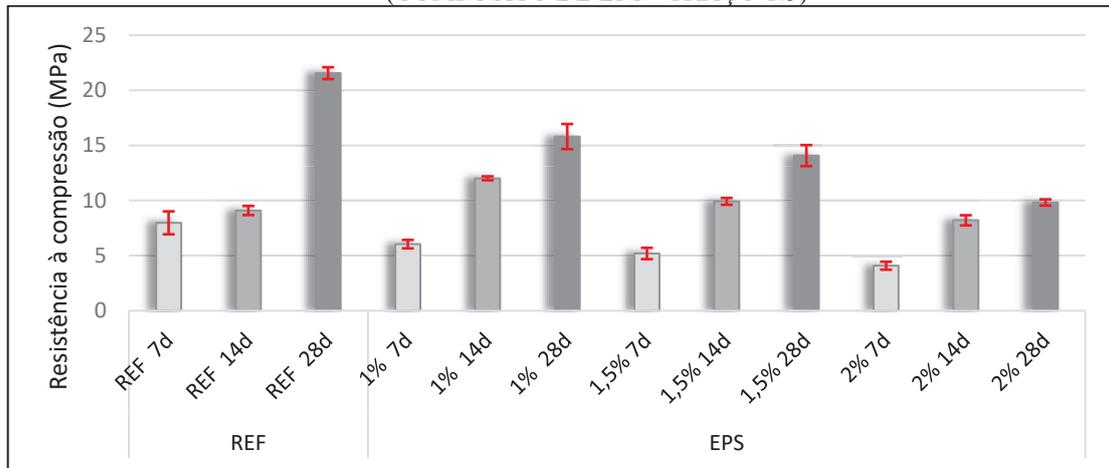
FIGURA - 41. TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (COMPÓSITO DE EPS - TRAÇO 1:3)



FONTE: A autora (2022).

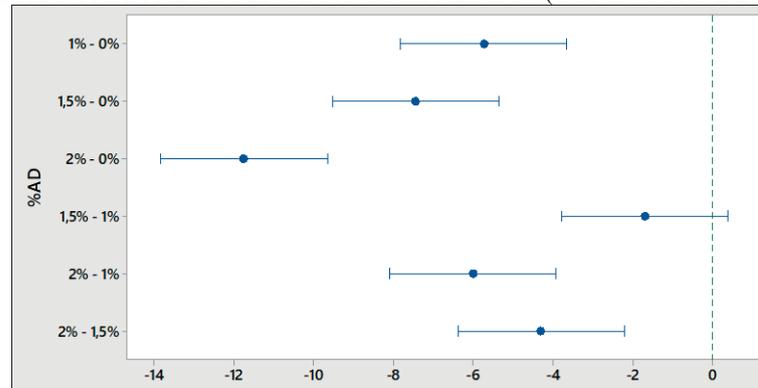
Os resultados dos testes dos corpos de prova de traço base 1:5 representados pela FIGURA 42 seguem o mesmo comportamento dos corpos de prova já analisados anteriormente. Aumentado a resistência em função do tempo e diminuindo em função dos maiores teores de adições de EPS. Nos testes de comparação em pares do experimento com o traço base 1:5, se observa na FIGURA 43 que somente o par de compósitos com 1% e 1,5% de adição têm comportamento similar.

FIGURA – 42. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (COMPÓSITO DE EPS - TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022).

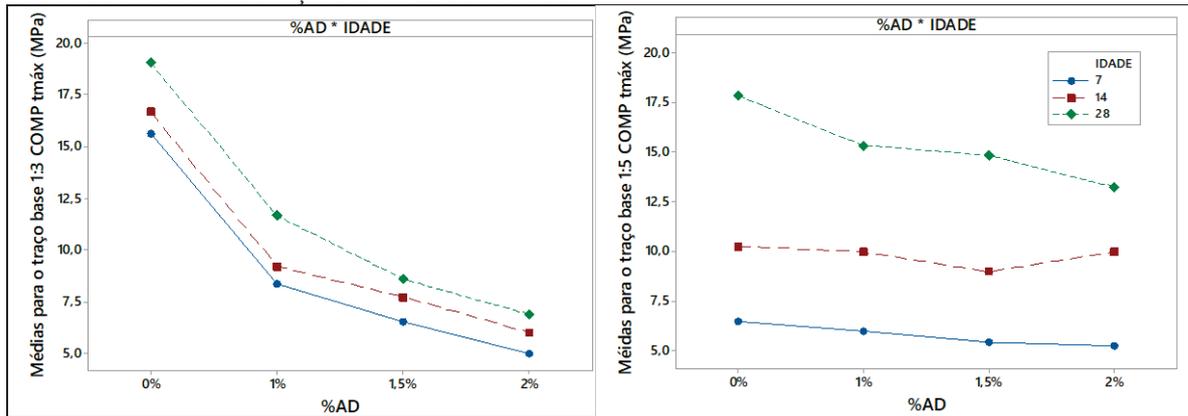
FIGURA - 43. TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (COMPÓSITO DE EPS - TRAÇO 1:5)



FONTE: A autora (2022).

No caso dos corpos de prova com adição de EPS, os gráficos da FIGURA 44 demonstraram que todos tiveram resultados maiores aos 28 dias. Mas na comparação entre os traços de base (1:3 e 1:5) os maiores resultados foram para o traço de base 1:5. Esse comportamento, observado na FIGURA 44, teve a exceção apenas para o espécime padrão, no traço base de 1:3, que foi o maior de todos.

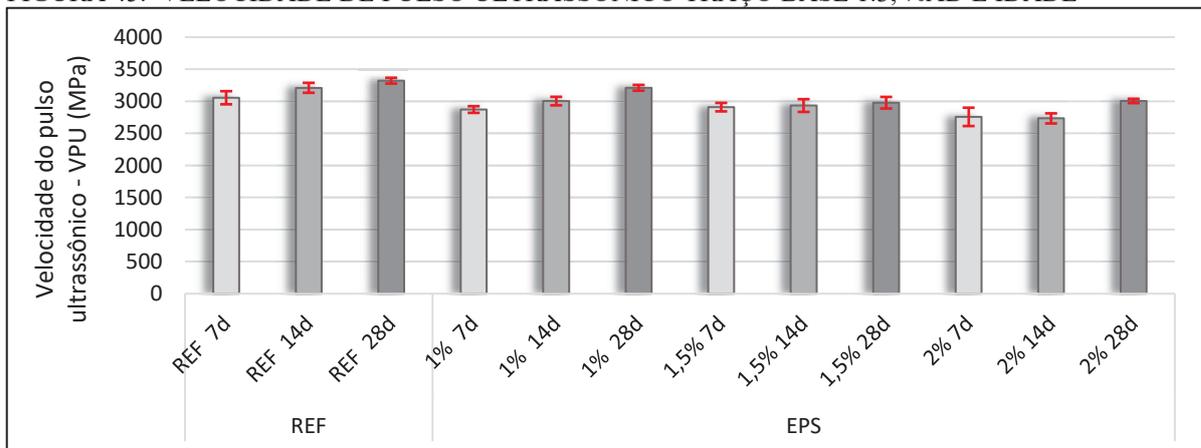
FIGURA - 44. INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO



FONTE: A autora (2022).

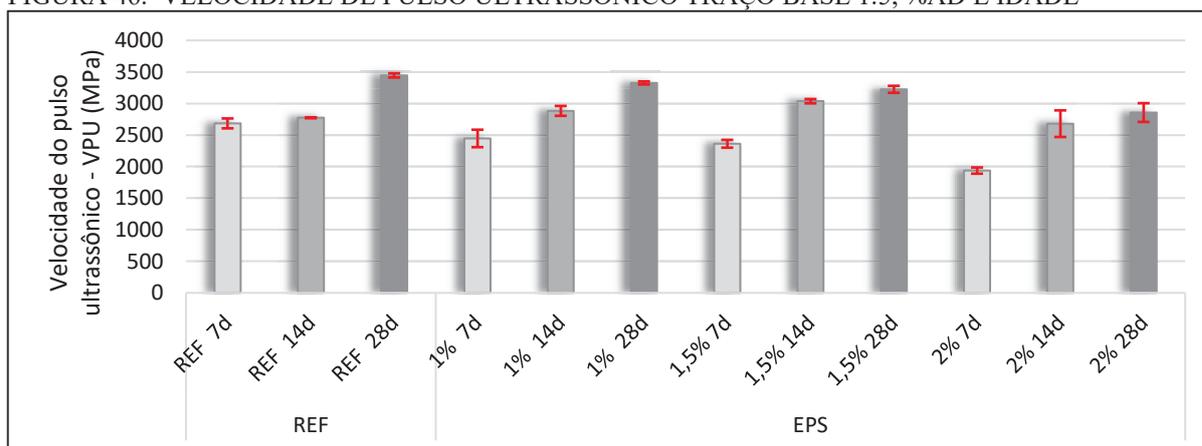
c. **ULTRASSOM:** Na FIGURA 45, (traço 1:3) e na FIGURA 46, (traço 1:5) estão os valores da VPU. Os resultados dos testes de ultrassom aos 28 dias demonstram que a VPU dos corpos de prova padrão, sem adições para os dois traços de base foram as mais altas, sendo a do espécime com traço base 1:5 no padrão sem adições, a mais alta delas. Percebeu-se pela FIGURA 45, que os resultados dos corpos de prova da série do traço base 1:3 obtiveram resultados mais uniformes, com pouca variação ao longo do tempo. No entanto, notou-se que o comportamento da VPU para o material EPS, FIGURA 46, foi decrescente na medida em que se acrescentaram as adições. Na Fase II, a cura dos corpos de prova foi em câmara seca. Devido a isso, a hidratação se deu apenas pela água da mistura, percebendo-se que o material se tornou poroso e, com isso, houve a diminuição da VPU.

FIGURA 45. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:3, %AD E IDADE



FONTE: A autora (2022)

FIGURA 46. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:5, %AD E IDADE



FONTE: A autora (2022)

d. **MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO:** a TABELA 26 apresenta os valores do módulo de elasticidade dinâmico pela VPU. Com os valores de velocidade de propagação da onda ultrassônica aos 28 dias, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico baseando-se na NBR 15630:08 da ABNT. Dessa forma, a TABELA 26 apresentou os valores do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica. Pôde-se perceber que os valores do módulo elástico diminuíram ao serem acrescentadas adições de materiais de RSU.

TABELA 26. MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

TRAÇO: 1:3			TRAÇO: 1:5		
IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSITOS		ENSAIO/RESULTADO	IDENTIFICAÇÃO DOS COMPOSITOS		ENSAIO/RESULTADO
Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)	Espécime	TEOR DE ADIÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)
Sp1	0%	20,21	Sp1	0%	20,66
Sp2	1%	16,89	Sp2	1%	17,50
Sp3	1,5%	13,22	Sp3	1,5%	15,75
Sp4	2%	12,90	Sp4	2%	12,58

FONTE: A autora (2022).

e. **VARIAÇÃO DIMENSIONAL:** a variação dimensional foi calculada a partir das recomendações da NBR15261:05 e teve os resultados apresentados na TABELA 32. Nos testes de comparação por pares dos valores médios da variação dimensional apresentados na TABELA 27, pôde-se constatar que no traço base de 1:3 há diferenças significativas. Para o teor de 0% de adição, as leituras do 1° e do 7° dia são semelhantes e ambas têm diferenças significativas com relação ao 28° dia. Para os teores de adição de 1% e 1,5%, não há

diferenças significativas em suas categorias individuais. Porém, para o teor de 2% de adição, encontraram-se diferenças significativas entre todas as leituras.

f. Tratando-se dos resultados dos compósitos, nos valores do 28º dia, entre os diferentes teores foram encontrados indícios de diferenças significativas entre os pares [1% - 2%] e, quanto aos demais, todos apresentam semelhanças estatísticas. No traço base de 1:5, diferenças significativas foram encontradas entre os pares de dias [1º - 7º] e [1º - 28 º] para os teores de 1,5% e de 2% de adição. Todos os demais não apresentaram diferenças significativas entre as datas de leitura. Quanto à comparação por teores aos 28 dias, não têm diferenças significativas os teores de 0%, 1% e 2% entre si. Os compósitos com os teores de 1,5% e 2% também não apresentam diferenças significativas entre si. Observando-se a TABELA 27, nota-se que houve retração em todos os corpos de prova testados, tanto para o traço base 1:3 quanto para o traço base 1:5.

TABELA 27. VARIACÃO DIMENSIONAL MÉDIA– EPS TRITURADO

Relação entre a variação dimensional da desforma ao 1º, 7º e 28º dia (mm/m)					
Traço	Intervalo observado	Percentual de adição de material			
		0%	1,0%	1,5%	2,0%
1:3	desforma/1dia	-0,30	-0,06	-0,21	-0,17
	desforma/7dias	-0,41	-0,14	-0,26	-0,46
	desforma/28 dias	-0,89	-0,46	-0,56	-1,00
1:5	desforma/1dia	-0,35	-1,74	-0,40	-0,43
	desforma/7dias	-0,55	-0,74	-1,00	-0,79
	desforma/28 dias	-0,62	-1,00	-0,75	-0,79

FONTE: A autora (2022)

## 5 CONCLUSÕES

Durante a execução do experimento, os compósitos foram testados e analisados com a intenção de verificar o potencial para a produção de placas de fibrocimento. Sendo assim, os testes de tração na flexão foram tratados como requisito principal para a escolha dos compósitos. Os compósitos foram escolhidos para os experimentos da próxima fase atendendo à premissa de consumo sustentável de materiais alternativos, a economia de recursos naturais, e a performance dos compósitos quanto ao mínimo especificado pela NBR15498, ABNT (2016). A resistência à compressão, mesmo não sendo um parâmetro da norma para painéis de fibrocimento, foi levada em conta para a caracterização dos compósitos, bem como os outros testes realizados. A consistência dos compósitos ficou menos fluida com a adição de materiais de RSU, mas apesar da consistência mais seca, foi possível proceder à moldagem de placas, conforme abordado no Apêndice 1b desta pesquisa.

Os resultados médios do traço base 1:3 com adições de aparas de papel

termossensível foram superiores aos do traço base 1:5. Dentre eles, se destacaram os compósitos com os fatores de adição de 5% e 7,5%, como os mais adequados.

Apesar dos resultados dentro da faixa de tolerância da norma técnica, o compósito com 10% de adição teve valores menores que os demais nos outros testes, sendo por isso, descartado. Nesse caso, considerou-se a variabilidade de 15% para os resultados nos testes de tração na flexão como fator preponderante para a eliminação dessa mistura. Para o mesmo material, os corpos de prova do traço base 1:5, apesar do menor consumo de cimento os resultados não atingiram o valor mínimo de resistência à tração na flexão determinado pela norma técnica e, por isso, foram desconsiderados como opção para as placas de fibrocimento.

Os compósitos com adição de EPS triturado no traço de base 1:3 obtiveram resultados que atenderam à norma técnica. No traço de base de 1:5, o compósito com 2% de adição não atingiu o resultado mínimo definido pela norma e, por isso foi descartado. No entanto, ao se considerar as premissas de uso sustentável e economia de recursos naturais já abordadas, optou-se por descartar toda a série do traço de base 1:3 para esse material

Finalmente, considerando-se os resultados obtidos e a análise feita nos itens anteriores, foram selecionados os compósitos de traço base de 1:3 com 5% e 7,5% de adição de aparas de papel termossensível com resultados de 3,93MPa e 3,42MPa, respectivamente. No traço base de 1:5, os teores com adição de 1,0% e 1,5% de EPS com resultados de 3,83MPa e 4,12MPa, respectivamente.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738:2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016

\_\_\_\_\_. NBR 8802:2019 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 9779:2012 - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 13230:2008 - Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 13276:2016 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15261:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15395:2006 - Garrafa soprada de PET para refrigerantes e águas - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 15498:2016 - Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 15588:2008 - Pré-forma de PET para sopro de embalagem para alimentos e bebidas - Requisitos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR15630:2008 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 15988:2009 - Plásticos - Filme e revestimento de poli(tereftalato de etileno) (PET) biorientado. ABNT, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR16687:2018 - Cimento Portland – Requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. NBR16832:2020 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Lãs de PET para isolamento térmico e acústico – Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2020.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, “ASTM E114 - Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Contact Testing,” West Conshohocken, PA, USA, 2015.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. C.; PINTO, E. B. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais**. 2019. REVISTA Matéria (Rio J.) 24 (2) • 2019 ISSN 1517-7076 artigos e-12364, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0679>. Acesso em: 12 fev. 2022.

CARDOSO, F. A. Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico I F.A. Cardoso. São Paulo, 2009. 138p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/pesquisador/61115/fabio-alonso-cardoso/>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

KAY, P.; HISCOE, R.; MOBERLEY, I.; BAJIC, L.; MCKENNA, N. **Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments**. Environmental Science and Pollution Research (2018) 25:20264–20267 Received: 7 March 2018 /Accepted: 17 April 2018 /Published online: 7 June 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2070-7>. Acesso em: 09 fev. 2022.

KIZINIEVIČ, O et al. Eco-friendly fired clay brick manufactured with agricultural solid waste. Archives of Civil and Mechanical Engineering. Volume 18, Issue 4, September 2018, Pages 1156-1165

LIMA JÚNIOR, U. M. Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios. Dissertação de Mestrado Engenharia e Tecnologia de Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 2007. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10923/3384>> Acesso em: 10 dez. 2018.

MONTEIRO, P. J. M. Caracterização da microestrutura do concreto: fases e interfaces; aspectos de durabilidade e de microfissuração. São Paulo, 1993a. 138p. Tese de Professor Livre Docente do Departamento de Engenharia de Construção Civil da USP. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/000737841>>. Acesso em: 12 fev. 2022

MOSTAFA, M.; UDDIN, N. Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*, Volume 5, December 2016, Pages 53-63

NEVILLE, A. M. Brooks JJ. *Concrete technology*. ELBS, Longman Singapore Publisher Ltd.; 1994. 345–361.

RAHMAN, A. F.; GOH, W. I.; JHATIAL, A. A. **Flexural Study of Reinforced Foamed Concrete Beam Containing Palm Oil Fuel Ash (POFA) and Eggshell Powder (ESP) as Partial Cement Replacement**. 2019. Article in *International Journal of Sustainable Construction Engineering Technology* · June 2019 DOI: 10.30880/ijscet.2019.10.01.009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335402134\\_Flexural\\_Study\\_of\\_Reinforced\\_Foamed\\_Concrete\\_Beam\\_Containing\\_Palm\\_Oil\\_Fuel\\_Ash\\_POFA\\_and\\_Eggshell\\_Powder\\_ESP\\_as\\_Partial\\_Cement\\_Replacement](https://www.researchgate.net/publication/335402134_Flexural_Study_of_Reinforced_Foamed_Concrete_Beam_Containing_Palm_Oil_Fuel_Ash_POFA_and_Eggshell_Powder_ESP_as_Partial_Cement_Replacement). Acesso em: 12 fev. 2022.

SADRINEJAD, I.; MADANDOUST, R.; RANJBAR, M. M. **The mechanical and durability properties of concrete containing hybrid synthetic fibers**. 2018. July 2018 *Construction and Building Materials* 178:72-82 DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.05.145. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326102231\\_The\\_mechanical\\_and\\_durability\\_properties\\_of\\_concrete\\_containing\\_hybrid\\_synthetic\\_fibers](https://www.researchgate.net/publication/326102231_The_mechanical_and_durability_properties_of_concrete_containing_hybrid_synthetic_fibers). Acesso em: 12 fev. 2022.

SILVA NETO, J. T. **Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de OUro Preto. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação. REDEMAT. Programa de Pós graduação em Engenharia de Materiais. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10626>.. Acesso em: 12 fev. 2022.

TANG, W.C.; LO, Y.; NADEEM, A. Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete. *Cement & Concrete Composites* 30 (2008) 403–409. Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, HKSAR, China Received 7 July 2006; received in revised form 9 January 2008; accepted 9 January 2008 Available online 18 January 2008. Disponível em: < [https://www.academia.edu/800657/Mechanical\\_and\\_drying\\_shrinkage\\_properties\\_of\\_structural\\_graded\\_polystyrene\\_aggregate\\_concrete](https://www.academia.edu/800657/Mechanical_and_drying_shrinkage_properties_of_structural_graded_polystyrene_aggregate_concrete)> . Acesso em: 18 fev. 2022

ZHOU, Y. et al., Mechanical Properties of Hybrid Ultra-High Performance Engineered Cementitious Composites Incorporating Steel and Polyethylene Fibers, *Materials*, v. 11, n.1448, p. 1-21, aug. 2018, doi:10.3390/ma11081448. Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30115842/>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

## d) ESTUDO DE ADIÇÃO DE FIBRA DE PET EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COMBINADOS COM EPS E POLPA DE PAPEL TERMOSENSÍVEL

### 1 INTRODUÇÃO

Considerando-se uma oportunidade para analisar o comportamento do tereftalato de etila ou, simplesmente, PET como adição aos compósitos em estudo, ponderou-se para além disso. Ao se observarem os estudos técnicos científicos conduzidos a respeito do material, não se encontraram na literatura, referências semelhantes ao experimento que aqui se apresenta.

Sem a possibilidade de se utilizar o PET filetado diretamente das garrafas coletadas nas cooperativas somada à dificuldade em se obter o filamento adequado por processo de filetagem manual buscaram-se por fibras de polietileno, PET para adição em argamassas e concretos no mercado. Porém, não se encontraram empresas que comercializassem o material na época dos testes, o que se encontraram foram fibras de polipropileno. Para atender ao objetivo de aproveitamento de materiais descartados como RSU, optou-se então pela adição de uma fibra mais fina de PET, encontrada como manta de lã para isolamento termoacústico na construção civil. A quantidade da amostra, doada por uma empresa, foi suficiente para a realização dos testes com o novo material

Como as fibras que compõem a lã de PET muito finas, foi importante analisar o comportamento dos novos compósitos, que já têm outras adições, quando as receberam mais um nível de adições. Dessa forma, foram feitas as mesmas análises já realizadas com os outros compósitos adicionados dos materiais aparas de papel termossensível e EPS. Porém é importante ressaltar que não foram analisadas as características geométricas das fibras quanto à resistência mecânica do material empregado na fabricação das fibras, orientação e distribuição das fibras dentro da matriz do compósito, tensão de aderência entre as fibras e a matriz nem a razão entre dimensão máxima do agregado e o comprimento da fibra.

### 2 MÉTODOS

Assim como na FASE I e FASE II, as moldagens e os testes da FASE III foram realizados no laboratório de Materiais e Estruturas Laboratoriais da Universidade Federal do Paraná (LaME). A norma técnica brasileira pondera os limites com uma redução de até 30% do valor base de referência para a resistência à tração na flexão. Como os compósitos selecionados da fase anterior tiveram seus valores dentro da faixa de tolerância, considerando o intervalo permitido pela redução, a FASE III teve como objetivo a possibilidade de um

incremento de resistência à tração na flexão dos compósitos propostos. Para a escolha dos teores de fibra de PET (tereftalato de etila) foi preciso uma rodada extra de experimentos para ajustar as quantidades de fibras à mistura.

Os compósitos propostos nesta fase foram avaliados considerando-se, mais uma vez, as normas brasileiras publicadas pela ABNT (2020), NBR13279:05, características físicas e mecânicas, NBR8802:19, determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, NBR 15630:08, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica, a NBR13276:16, na determinação do índice de consistência (estado fresco) e NBR15261:05, na determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Todos os resultados foram levados em conta na caracterização geral dos compósitos, mas o parâmetro de aprovação principal foi a norma NBR15498, ABNT (2016), para placas de fibrocimento.

O PET utilizado foi em forma de lã, recortado de uma manta em tiras de 10 mm de largura com uma tesoura doméstica. A escolha por esse tipo de fibra foi feita em decorrência da não existência do material em filamentos para reforços de compósitos nos RSU.

Os materiais foram preparados e separados para uso e as quantidades necessárias para cada mistura proposta, tiveram suas massas determinadas por meio de uma balança de escala tipo Centesimal Scale Mark M5202 - 5200g X 0,01g. Os compósitos foram preparados adicionando-se os materiais em ordem pré-definida aos misturadores. Para definir a ordem de adição foram feitos testes de mistura. Depois de adicionados todos os materiais, ficaram no misturador durante 10 minutos na velocidade baixa do aparelho.

Após a mistura para a homogeneização dos materiais, foram moldados corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm) adaptando-se as recomendações da NBR13279:05. Também foram moldados os corpos de prova do tipo “barra”, para a análise da variação dimensional, tal como prescreve a NBR15261:05 como mostrado na FIGURA 47.

FIGURA 47. MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA



FONTE: A autora (2022)

Os ensaios de resistência mecânica e de ultrassom de todos os corpos de prova dessa etapa (FASE III), foram realizados em três idades, aos sete, catorze e vinte e oito dias após a moldagem. Logo após a desmoldagem, os corpos de prova foram submetidos à cura úmida, submersos em solução de água saturada de hidróxido de cálcio (NBR5738:2015) conforme se pode observar na FIGURA 48.

FIGURA - 48. CURA ÚMIDA, SUBMERSOS EM SOLUÇÃO DE ÁGUA SATURADA DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO (NBR5738:2015)



FONTE: A autora (2022)

Para a determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear), do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica foram tomadas medidas utilizando-se os mesmos equipamentos e procedimentos já descritos no capítulo 5.

O delineamento do experimento, análise estatística dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão, organização e apresentação, tiveram o mesmo procedimento, também já descrito no capítulo anterior.

Nessa nova fase, permaneceram os materiais de adição da FASE II, com adições das aparas do papel termossensível (CEL) e o EPS triturado. Além desses, a FASE III teve a adição suplementar de fibras de lã de PET.

O experimento foi delineado tendo como partida os compósitos selecionados na FASE II: com fibras de celulose (CEL) no traço base 1:3 com 5% e 7,5% de adição e com EPS triturado, no traço base 1:5 com 1% e 1,5% de adição. Dessa forma, considerando mais 2 novos experimentos independentes, cada um deles com seu traço padrão (CEL1:3 ou EPS1:5 para cimento e areia), 3 níveis de adição de lã de PET (em porcentagem de massa da ordem de 0,1%, 0,15% e 0,2%) para cada material, CEL ou EPS. Também foram consideradas 3 réplicas para cada amostra de compósito ensaiadas em 3 idades diferentes (7, 14 e 28 dias). Além dos corpos de prova prismáticos, foram moldadas as barras de variação dimensional, sendo um total de 36 unidades.

Para que se estabelecessem os teores de adição da lã de PET, foram feitos testes preliminares de adição e de consistência para os traços padrão (1:3 e 1:5). A relação água/cimento (a/c) dos compósitos, foi mantida inalterada, com  $a/c = 0,7$ .

As misturas experimentais iniciais tiveram o teor de lã de PET com 2,5 g, 5,0 g e 7,5 g, e corte da manta na largura de 3 cm. No entanto, devido ao baixo valor do seu peso específico, ( $7,0 \text{ kg/m}^3$ ) o volume, a finura e o comprimento dos fios, a adição desse material nessas proporções favoreceu a formação de novelos ou grumos no interior dos compósitos. Esses grumos podem ser observados na FIGURA 49.

FIGURA - 49. FORMAÇÃO DE NOVELOUS OU GRUMOS NAS MISTURAS DOS COMPÓSITOS



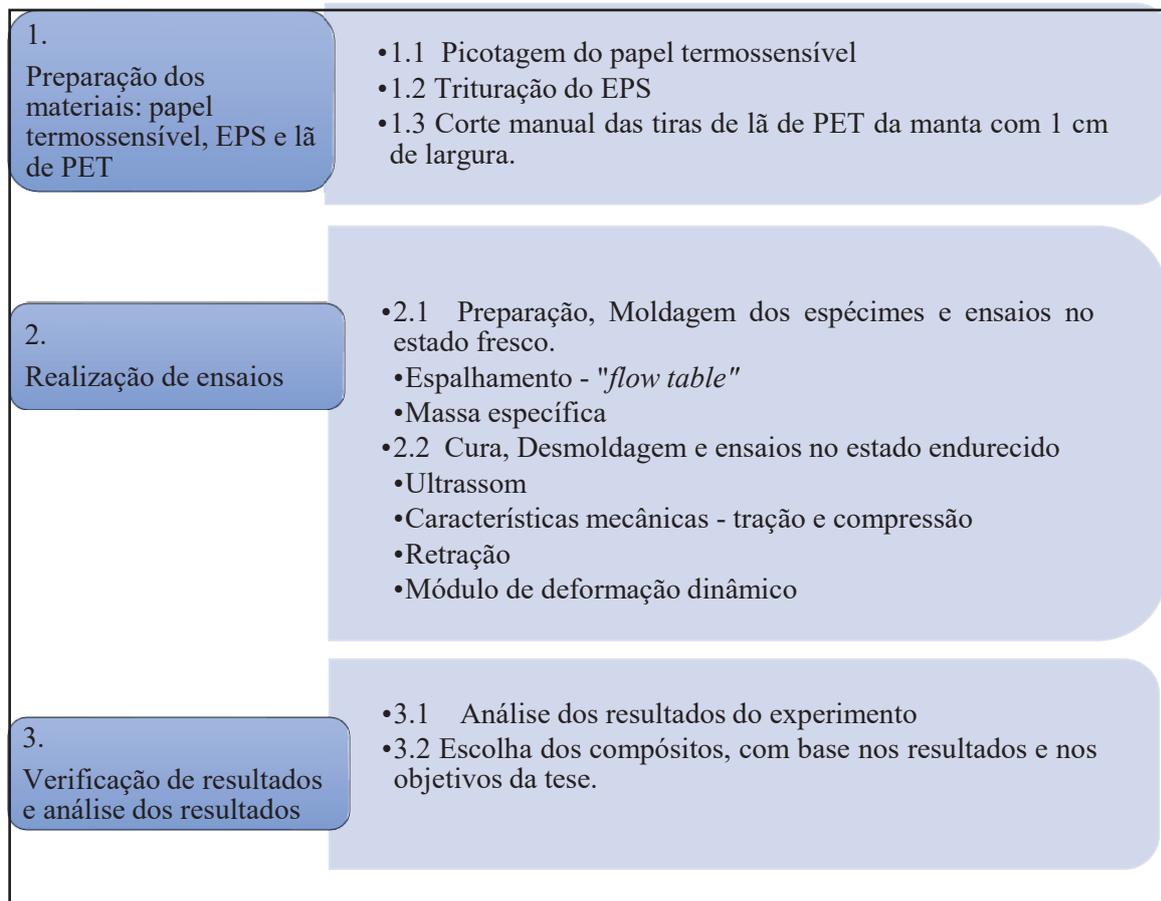
FONTE: A autora (2022)

Após o ajuste dos teores e dimensões das fibras, as misturas ficaram homogêneas e não houve a formação de grumos ou novelos. Dessa forma, feitos os testes preliminares para ajustes dos teores de adição de lã de PET, estabeleceram-se os valores de 1 g, 1,5 g e 2 g (0,1%, 1,5% e 2% da massa de cimento, respectivamente) e corte de faixas de 1 cm de largura da manta.

Resumindo, o experimento foi delineado considerando dois compósitos de cada material, aparas de papel termossensível (CEL) e o EPS triturado com um traço padrão específico para cada material (1:3 e 1:5 para cimento e areia, com  $a/c = 0,7$ ), 2 níveis adições para cada material: CEL (5,0%, 7,5%) e EPS (1,0%, 1,5%). Ainda, para a fase atual, 3 níveis de adição de lã de PET (0,1%, 0,15% e 0,2%), com 3 réplicas para cada amostra de compósito (A, B, C) e 3 idades de testes (7, 14 e 28 dias). Nessa fase, foram moldados 108 corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm e 36 barras para os testes de retração, de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm. De acordo com a NBR15261:05, foram moldadas 3 réplicas para cada grupo de corpos de prova moldados para os ensaios mecânicos, dessa forma, foram obtidas 36 barras.

Na FIGURA 50 encontra-se o resumo esquemático do delineamento dos experimentos da FASE III.

FIGURA 50. RESUMO ESQUEMÁTICO DO MÉTODO DA FASE III:



FONTE: A autora (2022)

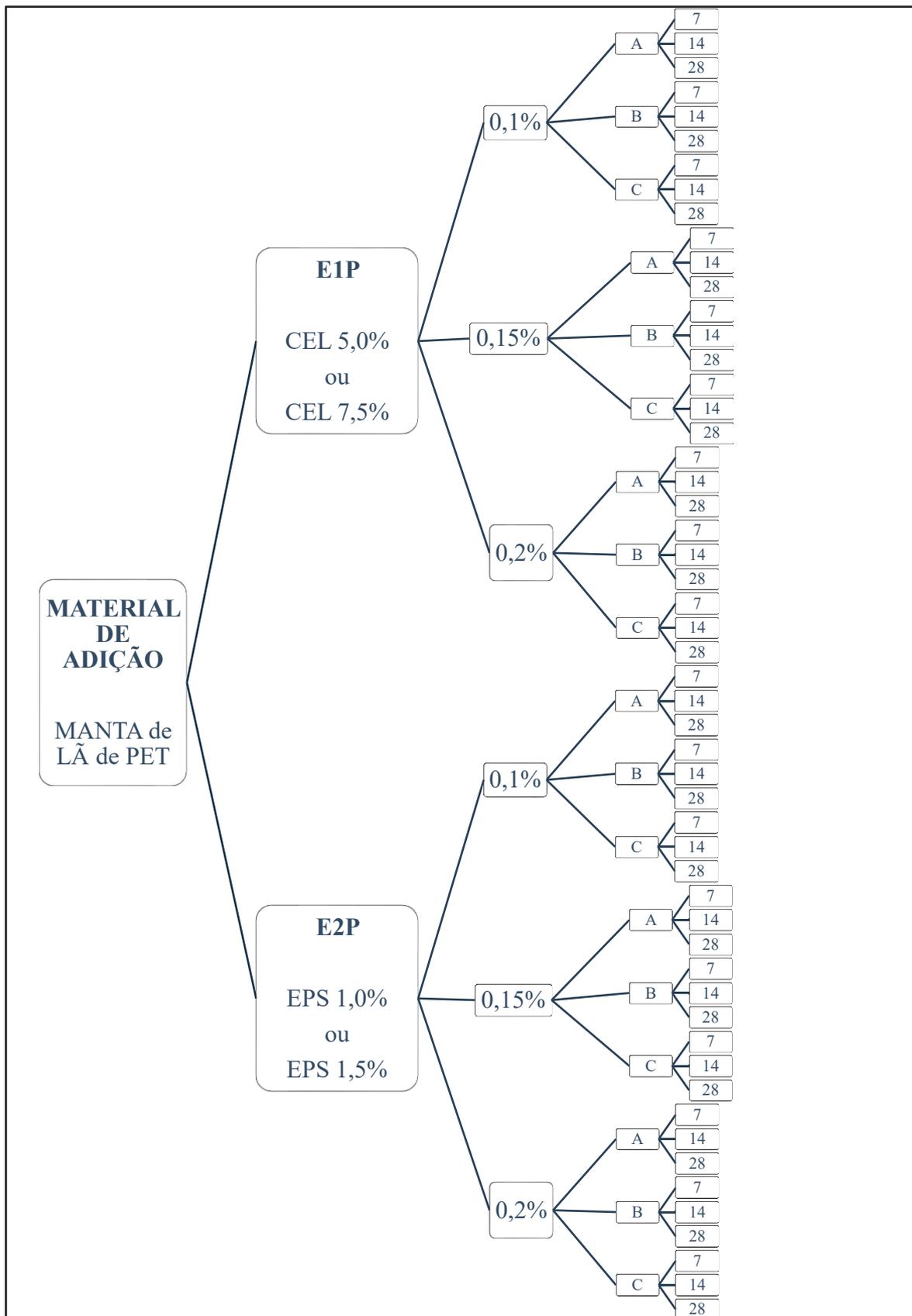
A FASE III ficou organizada em 2 experimentos descritos como:

E1P – CEL 1:3 + lã de PET

E2P – EPS 1:5 + lã de PET

Essa análise tratou de dois tipos de compósitos com diferentes teores de adições, materiais e comportamentos. Por isso, buscou-se a separação dos experimentos para que se pudessem avaliar os resultados individuais de cada compósito, conforme se apresenta na FIGURA 51.

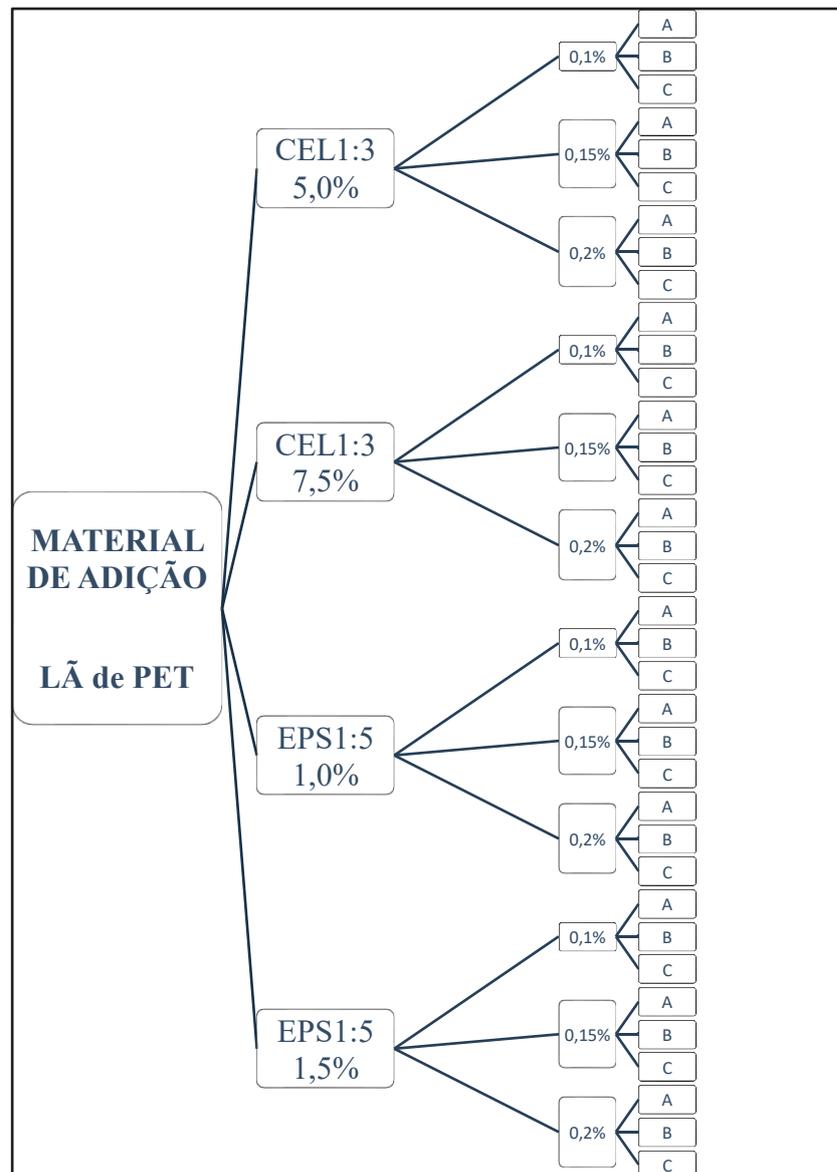
FIGURA 51. DELINEAMENTO DO EXPERIMENTO DA FASE III



FONTE: A autora (2022)

A FIGURA 52, representa, graficamente, a organização de moldagens para as barras de retração para cada mistura proposta.

FIGURA 52. MAPA DE MOLDAGENS DAS BARRAS DE RETRAÇÃO (NBR15261:2005)



FONTE: A autora (2022)

### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os compósitos estudados nessa fase foram escolhidos da fase anterior (FASE II), assim, as características que apresentam são as mesmas já mencionadas no item 4.3. Os compósitos com adições de aparas de papel termossensível e de EPS triturado foram compostos por uma matriz cimentícia (CP II Z 32 + areia fina) na proporção de 1:3 e 1:5,

respectivamente, com a relação a/c de 0,7.

### 3.1 Tereftalato de etila - PET

O material introduzido nessa fase é o tereftalato de etila, mais conhecido com PET. Trata-se de um polímero termoplástico que vem sendo utilizado em muitos produtos pois, além da leveza, oferece facilidade de manuseio e de armazenamento. Teve sua origem na indústria têxtil, mas é mais conhecido pelas garrafas plásticas. O PET pode ser reciclado e, também utilizado como agregado de argamassa (DETOMI et al, 2015)

Esse tipo de poliéster é produzido a partir do petróleo. O PET é formado pela reação do ácido tereftálico (DMT) e o etileno glicol, na presença de calor e de catalizadores. A poli condensação, que exige um tempo de 5 a 8 horas, é efetuada sob pressão reduzida, a uma temperatura próxima dos 300° C, para que o polímero fique suficientemente fluído, e o etileno glicol que se forma possa ser arrastado pela destilação. Após a poli condensação, o polímero é recolhido e solidificado por jatos de água fria e cortado em grãos regulares que apresentam muitas vezes, uma forma cúbica. Uma vez secos estes grânulos são fundidos e conduzidos através de fieiras por meio de bombas e na saída das fieiras os filamentos são solidificados numa corrente de ar frio. Após os tratamentos finais, os filamentos sofrem um alongamento, que irá definir o seu diâmetro que pode ser 4 a 5 vezes o comprimento inicial

Por ser um material inerte, leve, resistente e transparente, o PET passou a ser utilizado na fabricação de embalagens de bebidas e alimentos no início da década de 1980. Em 1985 cerca de 500 mil toneladas de vasilhames já haviam sido produzidos, somente nos Estados Unidos (RECICLOTECA, 2020). O PET chegou ao Brasil em 1988 e seguiu uma trajetória semelhante ao resto do mundo, sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil. Apenas a partir de 1993 passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes. Atualmente, uma necessidade chave para as pesquisas é o estudo adicional de FONTES de micro plástico MPs em bacias hidrográficas para facilitar os esforços de gerenciamento para reduzir sua presença em água doce e ambientes marinhos (KAY et al, 2018).

No Brasil, a norma técnica do plástico (NBR 13.230:2008) foi concebida de acordo com critérios internacionais. A numeração separa o material em seis diferentes tipos de plásticos (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP, PS) e ainda há uma sétima opção (0 – outros), normalmente empregada para os produtos de plástico fabricados com uma combinação de diversas resinas e materiais.

### 3.2 Lã de PET reciclada

O PET (Polietileno tereftalato) é o material de base para embalagens, principalmente para garrafas descartáveis de bebidas. Segundo Nováková, Šeps e Achten (2017) de 2008 a 2013, houve uma taxa de crescimento anual de 6,2% de consumo de garrafas plásticas de água. O polietileno tereftalato (PET) é um poliéster aromático utilizado na fabricação de muitos produtos, inclusive garrafas. Sua difícil degradação levou ao seu acúmulo no meio ambiente (CHARNOCK, 2021).

FIGURA 53 – LÃ DE PET EM ROLO



FONTE: Trisoft, (2020).

FIGURA 54 – LÃ DE PET RECORTADA EM FLOCOS PARA USO NOS COMPÓSITOS



FONTE: A autora (2022)

Conhecida pelo seu uso em isolamento termoacústico, a lã de PET é composta por fibras de poliéster, retiradas diretamente da reciclagem de garrafas PET, sem adição de outros tipos de resinas. É uma das soluções encontradas para uso alternativo do PET de garrafas. O material utilizado nessa pesquisa foi doado por uma empresa de produtos reciclados de garrafas PET. Por isso, as fibras foram retiradas de uma manta de isolamento térmico que pode ser vista nas FIGURAS 53 e 54.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e as discussões desse capítulo têm como base os resultados da análise da estatística descritiva. Ainda considerando o objetivo de se produzirem placas de

compósitos fibrocimentícios, optou-se por estudar os resultados para as tensões de resistência à tração na flexão e como resultados principais para a escolha do melhor compósito. No entanto, com a finalidade de se caracterizarem os compósitos, os outros ensaios e testes também foram considerados.

#### 4.1 EXPERIMENTO 1P – CEL + PET (TRAÇO BASE 1:3)

FATOR % DE ADIÇÃO – 2 níveis (5,0% e 7,5%)

FATOR % DE ADIÇÃO DE PET – 3 níveis (0,10%, 0,15%, 0,20%)

FATOR IDADE – 3 níveis (7, 14, 28) dias

REPETIÇÕES – 3 réplicas

Para a apresentação dos resultados desse experimento, foi preparada a TABELA 28 com os resultados referentes aos compósitos com 5,0% e 7,5% de adição de aparas de papel termossensível.

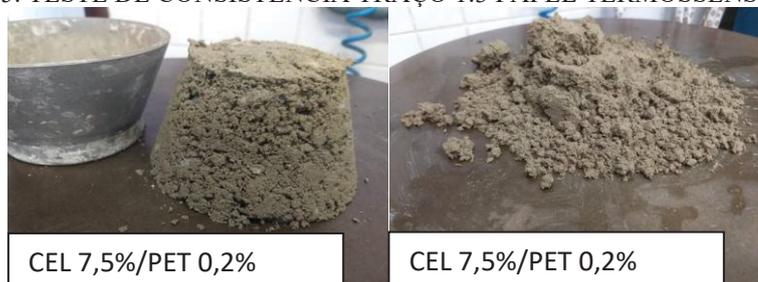
TABELA 28. RESULTADOS MÉDIOS DO EXPERIMENTO 1P – CEL + PET AOS 28 DIAS – APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL - TRAÇO BASE 1:3

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
TEOR DE ADIÇÃO BASE	TEOR DE ADIÇÃO PET	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM	Res. à tração na flexão	Res. à compressão	
		cm	g/cm <sup>3</sup>	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)	
5,0%	0,1%	24	1,557	3604	4,39	17,40	
5,0%	0,15%	25	1,495	3433	4,04	14,53	
5,0%	0,2%	25	1,429	3548	4,33	17,19	
7,5%	0,1%	24	1,340	3162	2,65	8,78	
7,5%	0,15%	25	1,297	3376	3,38	11,12	
7,5%	0,2%	29	1,275	3306	3,31	11,79	

FONTE: A autora (2022).

a. **CONSISTÊNCIA:** Observando o comportamento dos compósitos dessa fase, foi possível perceber que os índices indicaram estados mais consistentes que o padrão. Por outro lado, o comportamento do Sp6 (com 0,2% de adição de lâ de PET) teve índice de consistência mais próxima à do padrão, no entanto, o espalhamento, mais uma vez, se deu por desmoronamento das partículas e não por fluidez da massa.

FIGURA 55. TESTE DE CONSISTÊNCIA TRAÇO 1:3 PAPEL TERMOSENSÍVEL + PET



FONTE: A autora (2022)

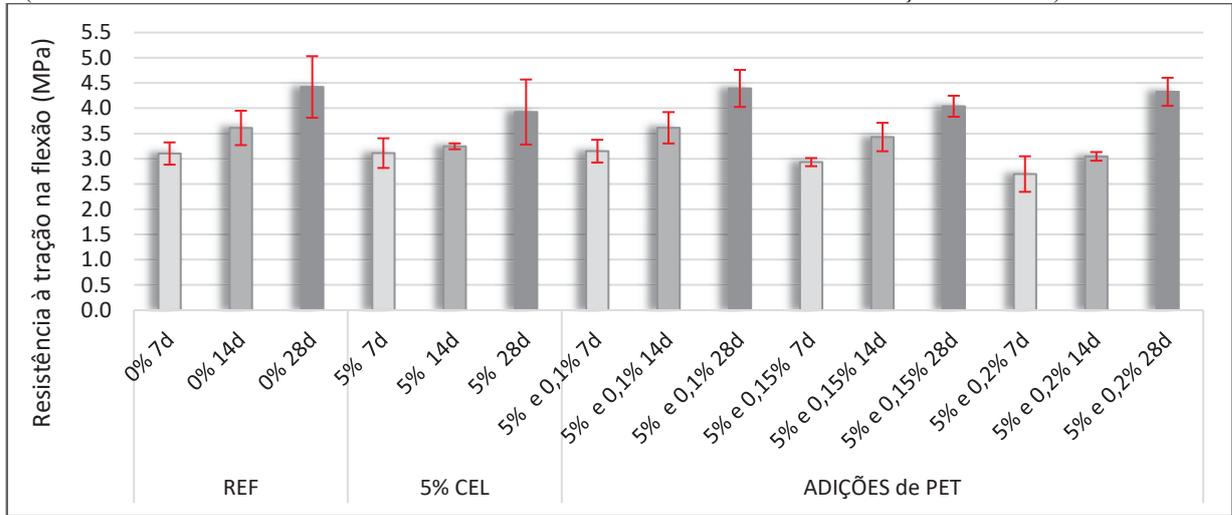
As imagens da FIGURA 55 demonstraram que após os ajustes de teores, as fibras de lã de PET ficaram mais bem incorporadas à mistura. No entanto, ainda permaneceram alguns grumos de dimensões menores, porém com resultado melhor, as fibras se distribuíram com maior uniformidade na mistura.

b. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** nesse item estão as análises dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão.

### iii. TRAÇÃO NA FLEXÃO

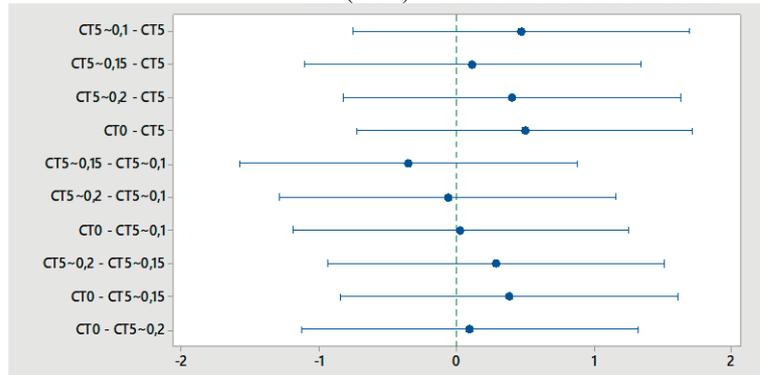
Os resultados individuais, foram mais altos para os compósitos com o fator %AD 5%, com resultado de 4,04 a 4,39 MPa. No entanto, os compósitos com o fator %AD 7,5%, com resultados para 0,15% e 0,2% de 3,31 e 3,38 MPa, respectivamente, embora menores também se mostram adequados. Aplicando-se o fator de redução da norma (0,7), chega-se a 2,8 MPa como valor mínimo exigido. A FIGURA 56 representa, de modo comparativo, os resultados da TABELA 28 relativos aos compósitos padrão (sem adições) e com 5% de teor de adição de aparas de papel termossensível combinados com os teores de 0,1%, 0,15% e 0,2% de fibras de lã de PET. Como foi possível perceber, houve incremento positivo aos resultados dos compósitos. Essas diferenças contribuíram para que a margem de resultados se enquadrasse aos valores da norma brasileira, sem o fator de redução, ficando acima de 4,0 MPa. Sendo “CT0” o compósito padrão sem adições e “CT5~” os compósitos com adições de lã de PET nos teores de 0,1%, 0,15% e 0,2%. Ainda assim, segundo a análise de Tukey, as diferenças não foram significativas, como se pôde perceber observando-se a FIGURA 57. Esse resultado levou à escolha do compósito com 0,20% de adição de lã de PET, com vistas ao resultado individual e ao acréscimo de material de RSU como favorável ao uso sustentável de recursos.

FIGURA - 56. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (PAPEL TERMOSENSÍVEL 5% + TEORES DE FIBRA DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:3)



FONTE: A autora (2022)

FIGURA – 57. TESTE DE TUKEY PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO COMPÓSITO DE CELULOSE - 5% (CT5) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:3

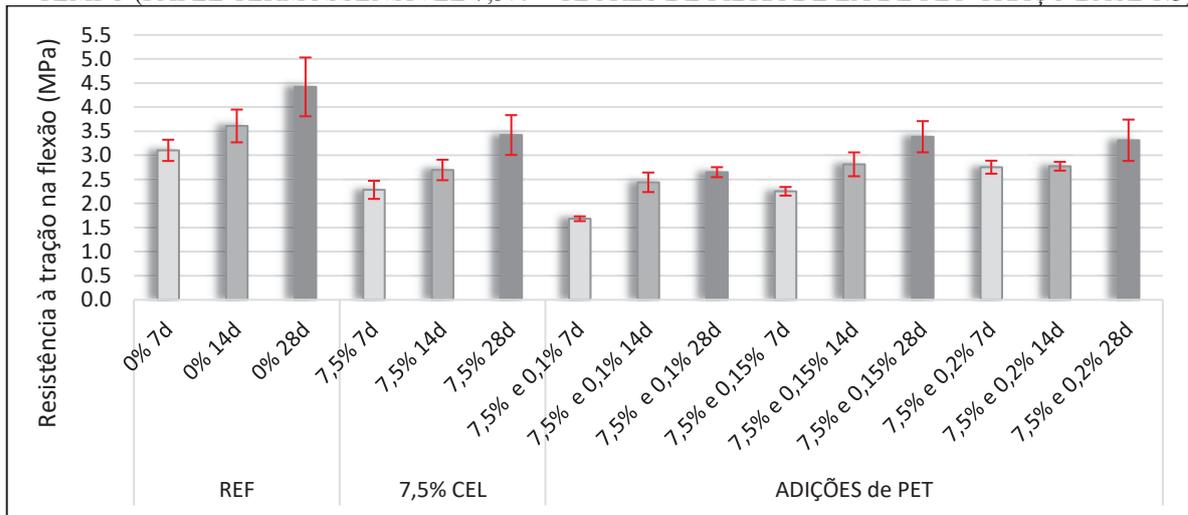


FONTE: A autora (2022)

Na FIGURA 58 podem ser comparados os resultados da TABELA 28 relativos aos compósitos com 7,5% de teor de adição de aparas de papel termossensível combinados com os teores de 0,1%, 0,15% e 0,2% de fibras de lã de PET. Assim como no caso anterior, houve variações da resistência à tração na flexão em todas as idades. A FIGURA 58 demonstrou a tendência de aumento de resistência conforme aumentou a idade. As variações foram para valores menores, indo de 3,42 MPa (7,5% sem PET) para 3,38 MPa e 3,31MPa para os compósitos com teores adicionais de lã de fibra de PET de 1,5% e 2%, respectivamente. No entanto, não se pôde afirmar se essas diferenças, aos 28 dias foram significativas sob o ponto de vista da estatística. Por isso, a FIGURA 59 foi importante na observação dos resultados, complementando e trazendo maior clareza à comparação. Sob o ponto de vista das diferenças mínimas significativas (DMS), quando se comparam os valores do espécime padrão, sem

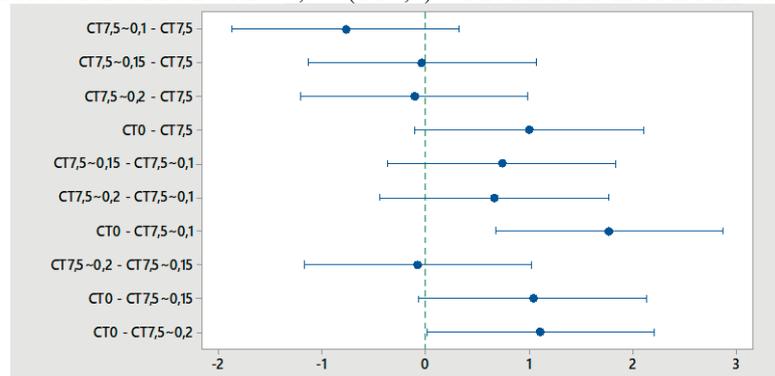
adições, se destacam as semelhanças de valor. A única exceção foi para o par [CT0 – CT7,5~0,15], em que se evidenciam as DMS. Nesse caso, a interpretação plausível foi considerar a probabilidade de que a hipótese nula seja verdadeira para a porcentagem de adição de lã de PET. Isso se deve ao fato de que não se produziram alterações significativas nos resultados, quando considerados na comparação entre esses mesmos teores, com uma única exceção.

FIGURA - 58. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (PAPEL TERMOSENSÍVEL 7,5% + TEORES DE FIBRA DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:3)



FONTE: A autora (2022)

FIGURA – 59. TESTE DE TUKEY PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO COMPÓSITO DE CELULOSE – 7,5% (CT7,5) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:3

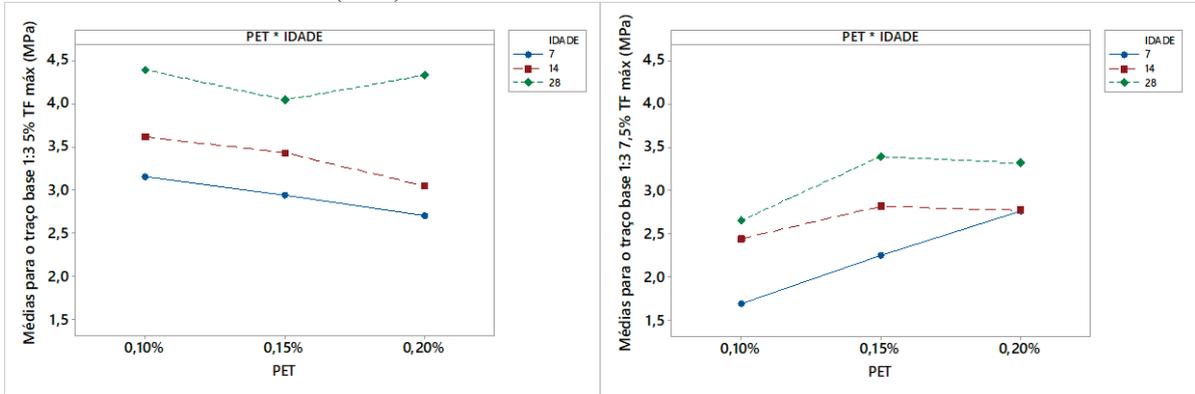


FONTE: A autora (2022)

Na interpretação dos efeitos principais dos compósitos, comparados por teor de aparas de papel termossensível e por teor de fibras de PET, os gráficos da FIGURA 60 mostraram que os resultados mais elevados foram os dos compósitos com adição de 5% de aparas de papel termossensível. No entanto, com a observação dos resultados por comparação aos 28 dias, optou-se pelos compósitos de aparas de papel termossensível nos dois teores de adição (5% e

7,5%) com 0,2% de fibras de lã de PET, visando resultados que atendessem à norma brasileira e ao quesito sustentabilidade.

FIGURA - 60. GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)

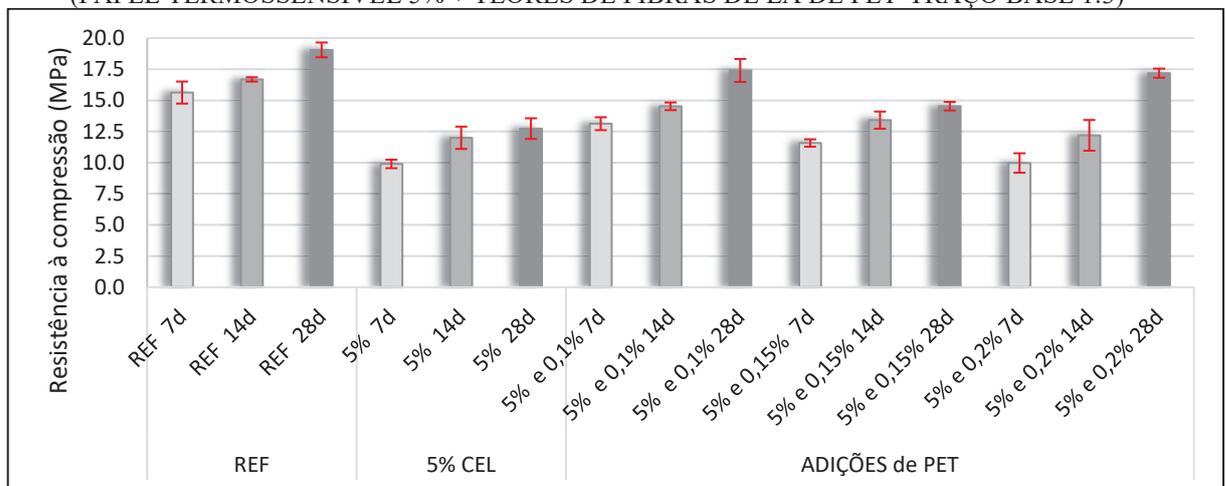


FONTE: A autora (2022)

#### iv. COMPRESSÃO

Considerando os resultados dos testes e a ANOVA, foi possível perceber que, o valor médio dos testes de resistência à compressão, começando aos 7 dias de idade, ficou acima de 8 MPa. No entanto, para a produção de placas de fibrocimento, a norma brasileira não menciona a relevância desse tipo de solicitação. Apesar disso, como parte do processo de caracterização do material, julgou-se importante quantificar para eventuais usos alternativos dos compósitos.

FIGURA - 61. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (PAPEL TERMOSENSÍVEL 5% + TEORES DE FIBRAS DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:3)

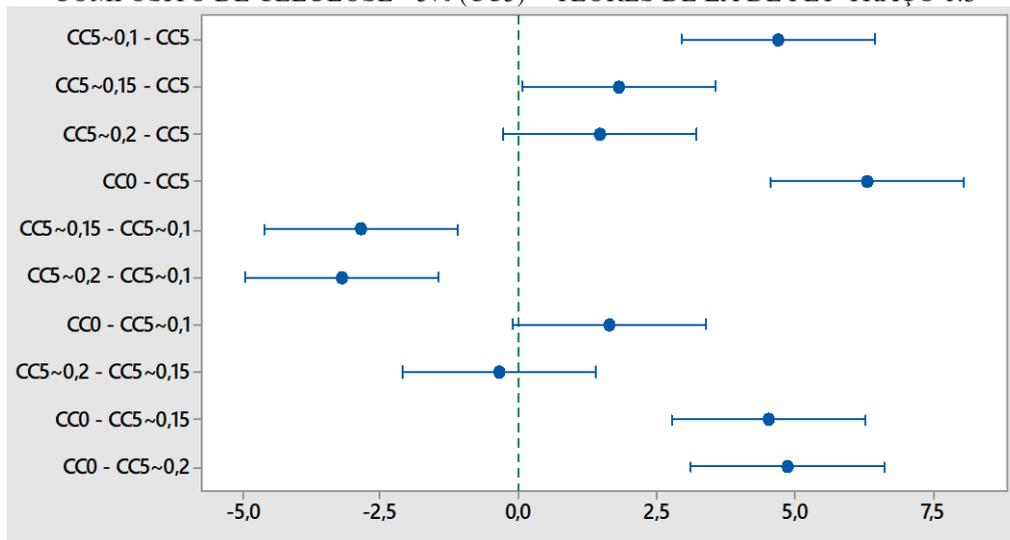


FONTE: A autora (2022)

Os resultados dos testes de resistência à compressão mostraram que a adição de fibras de lã de PET fez com que os compósitos chegassem a valores mais altos em comparação ao compósito com adições somente de aparas de papel termossensível. No entanto, apesar do aumento de resistência, os valores ficaram abaixo da resistência do compósito de referência, sem adições. Três pares, [CC5~0,2-CC5], [CC0-CC5~0,1] e [CC5~0,2-CC5~0,15], apresentam indícios de semelhanças entre si. Em todas as outras comparações em pares, apresentam-se diferenças significativas entre os resultados. Essa análise demonstrada na FIGURA 62, permitiu perceber que os teores de lã de PET provocaram modificações significativas no comportamento dos compósitos na resistência à compressão.

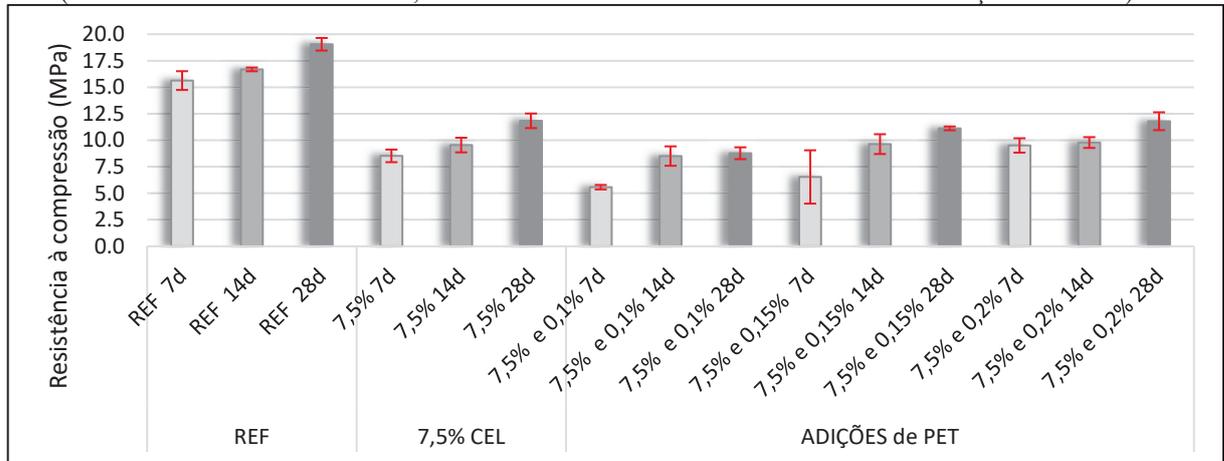
Para uma visualização mais detalhada sobre DMS, foi feita a comparação por pares na FIGURA 62.

FIGURA – 62. TESTE DE TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO  
COMPÓSITO DE CELULOSE - 5% (CC5) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:3



FONTE: A autora (2022)

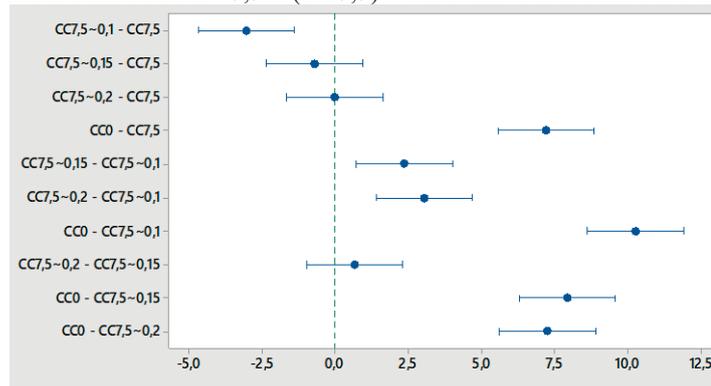
FIGURA - 63. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (PAPEL TERMOSENSÍVEL 7,5% + TEORES DE FIBRAS DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:3)



FONTE: A autora (2022)

Na série dos testes de resistência à compressão dos compósitos com 7,5% de adição de aparas de papel termossensível, o gráfico da FIGURA 63 mostrou a influência das adições de lã de PET nos resultados alcançados. As adições fizeram com que os compósitos chegassem a valores mais baixos em comparação ao compósito somente com adições de aparas de papel termossensível. E na comparação, nenhum compósito se aproximou do valor da resistência do compósito padrão, sem adições.

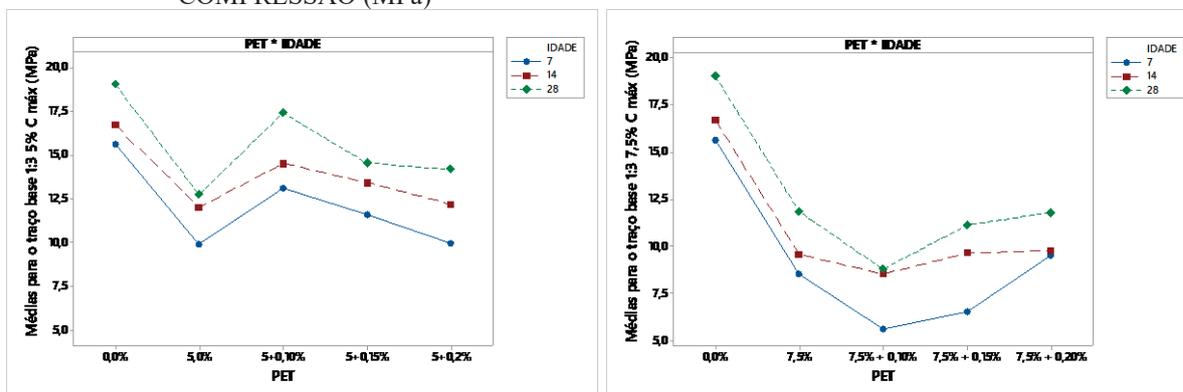
FIGURA – 64. TESTE DE TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COMPÓSITO DE CELULOSE - 7,5% (CC7,5) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:3



FONTE: A autora (2022)

Três pares, [CC7,5~0,15-CC7,5], [CC7,5~0,2-CC7,5] e [CC7,5~0,2-CC7,5~0,15], não apresentam DMS. Ao contrário, todas as outras comparações em pares, apresentam indícios de DMS nos resultados. A FIGURA 64, permitiu perceber, mais uma vez, que os teores de lã de PET provocaram modificações significativas no comportamento dos compósitos na resistência à compressão.

FIGURA - 65. GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)



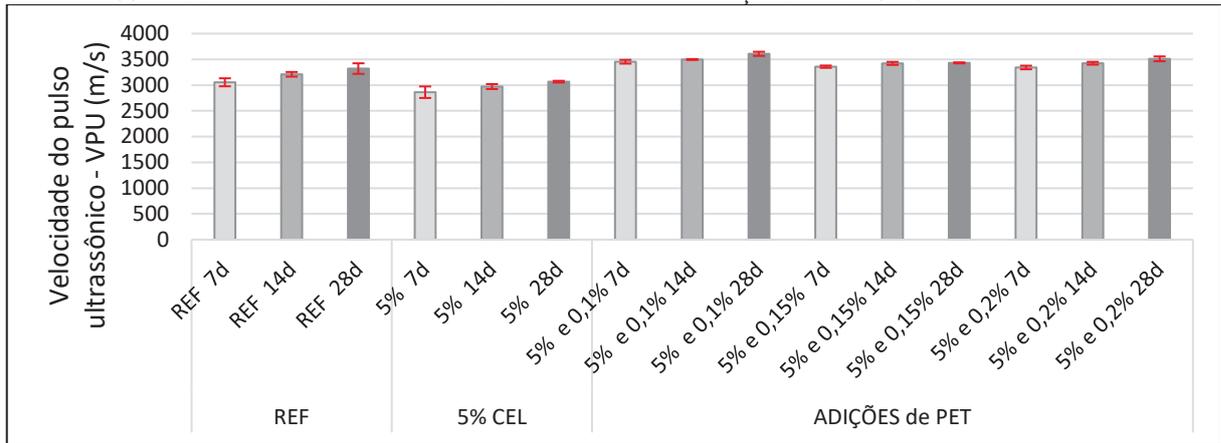
FONTES: A autora (2022)

Na interpretação dos efeitos principais dos compósitos, comparados por teor de aparas de papel termossensível e por teor de fibras de PET, os gráficos da FIGURA 65 mostraram que os resultados mais elevados foram os dos compósitos com adição de 5% de aparas de papel termossensível. Sabe-se de antemão que a simples escolha do maior resultado não significaria, necessariamente, que essa representasse o melhor resultado. Assim, após analisar os resultados, os compósitos com 5% e 7,5% de aparas de papel termossensível com 0,2% de lã de PET, com base nos resultados do teste de resistência à tração na flexão foram escolhidos como sendo o melhor resultado. Seus valores médios foram de 14,18 MPa (75%) e 11,80 MPa (62%) do valor de referência neste estudo, respectivamente.

c. **ULTRASSOM:** os resultados dos testes de velocidade da onda ultrassônica (VPU) aos 28 dias estão demonstrados nas FIGURAS 66 e 67. Conforme se demonstrou na FIGURA 66, com o passar do tempo, houve um aumento da VPU para todos os teores de adição. Houve uma tendência de que com a adição das fibras, os valores da VPU ficassem maiores do que os dos compósitos sem adições ou com adição única de 5% de aparas de papel termossensível.

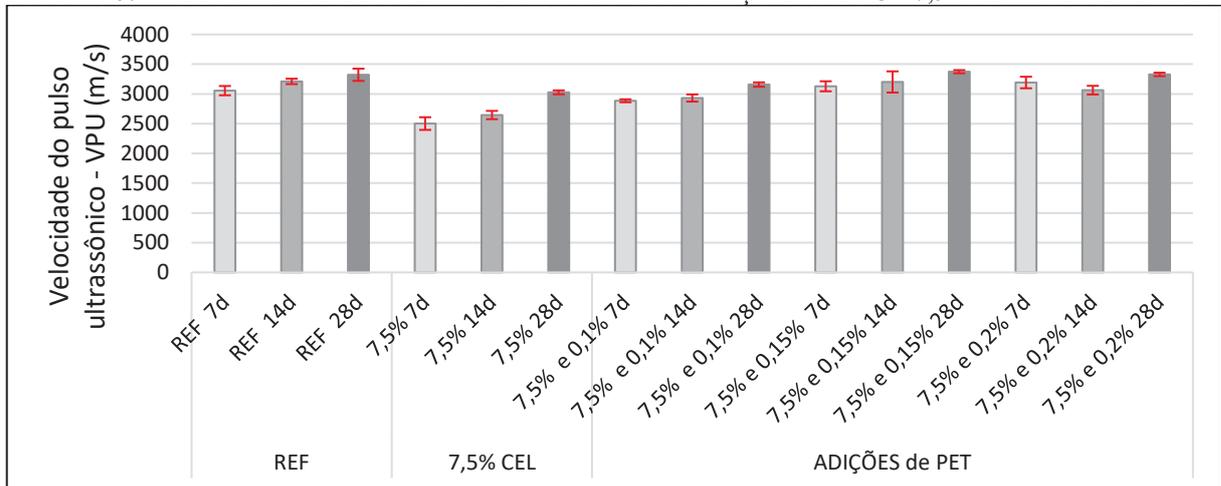
Na FIGURA 67, os valores da VPU dos compósitos com adição de PET combinada com 7,5% de aparas de papel termossensível obtiveram resultados com valores próximos aos do compósito sem adições.

FIGURA 66. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:3 - 5%AD~%PET E IDADE



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 67. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:3 - 7,5%AD~%PET E IDADE



FONTE: A autora (2022).

d. **MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO:** Aos 28 dias de idade, utilizando-se os resultados de ultrassom, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico dos novos compósitos (NBR 15630:08). Segundo Oliveira (2016), há uma tendência ao decréscimo do valor do módulo de elasticidade quando comparados ao valor do compósito sem adições. Os valores do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica, apresentados na TABELA 29, confirmam essa afirmação.

TABELA 29 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO PELA VPU - APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL+PET

TEOR DE ADIÇÃO	DE %AD	5%	TEOR DE ADIÇÃO	DE %AD	7,50%
IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	DOS	ENSAIO/RESULTADO	IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS	DOS	ENSAIO/RESULTADO
Espécime	%ADPET	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)	Espécime	%ADPET	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)
0%	-	20,21	0%	-	20,21
	-	16,71		-	15,05
5% aparas de papel termossensível	0,10%	17,48	7,5% aparas de papel termossensível	0,10%	12,01
	0,15%	16,49		0,15%	13,08
	0,20%	15,93		0,20%	12,90

FONTE: A autora (2022)

e. **VARIAÇÃO DIMENSIONAL:** a variação dimensional foi calculada a partir das recomendações da NBR15261:05. A variação dimensional dos corpos de prova teve os resultados apresentados na TABELA 30.

TABELA 30. VARIAÇÃO DIMENSIONAL MÉDIA DA DESFORMA AO 1º, 7º E 28º DIA (mm/m) APARAS DE PAPEL TERMOSENSÍVEL + PET

% DE ADIÇÃO									
IDADE	0%	5%	7,5%	5%+0,1%	5%+0,15%	5%+0,2%	7,5%+0,1%	7,5%+0,15%	7,5%+0,2%
desforma/1dia	-0,30	-0,22	0,02	-0,15	-0,16	-0,19	-0,47	-0,06	-0,16
desforma/7dias	-0,41	-1,43	0,07	-0,29	-0,39	-1,02	-1,48	-0,20	-0,89
desforma/28 dias	-0,89	-1,43	0,09	-0,35	-0,46	-1,09	-1,53	-0,85	-0,84

FONTE: A autora (2022)

Foram feitos testes de comparação por pares para verificar se existiam DMS entre os valores da TABELA 30.

Aos 28 dias, os testes indicaram não haver DMS apenas entre os pares de médias [5%+0,1% ~5%+0,15%], [0%~5%+0,2%] e [5%+0,2%~5%] do grupo de compósitos com 5% de adição de papel termossensível e PET. Quanto aos compósitos com adição de 7,5% de papel termossensível mais PET, três misturas permaneceram no mesmo grupo, [7,5%+0,15%~0%], [7,5%+0,2%~0%] e [7,5%+0,15%~7,5%+0,2%], portanto, sem apresentar indícios de DMS. Os resultados das demais comparações, tanto para 5% de adição de papel termossensível quanto para 7,5% de adição, apresentaram DMS. Isso levou a se considerar que as fibras de lã de PET influenciaram nos resultados.

Na análise das médias, considerou-se que os melhores resultados foram para os compósitos com 5%+0,2% (aparas de papel termossensível +PET), pois não teve DMS do

compósito padrão sem adições e ainda leva o adicional de material de RSU. Junto a isso, considerou-se também que o compósito com 7,5%+0,2% (aparas de papel termossensível +PET), pelo mesmo princípio obteve o melhor resultado.

Na comparação entre os três teores com os melhores resultados, foi possível considerar o compósito com 7,5%+0,2% foi o que permaneceu no mesmo grupo do compósito padrão, sem adições. Por isso foi considerado como a melhor escolha para a próxima etapa dessa pesquisa.

#### 4.2 EXPERIMENTO 2 – EPS – POLIESTIRENO EXPANDIDO TRITURADO

FATOR % DE ADIÇÃO – 2 níveis (1,0% e 1,5%)

FATOR % DE ADIÇÃO DE PET – 3 níveis (0,10%, 0,15%, 0,20%)

FATOR IDADE – 3 níveis (7, 14, 28) dias

REPETIÇÕES – 3 réplicas

Para a apresentação dos resultados desse experimento, foi preparada a TABELA 31 com os resultados referentes aos compósitos com 1,0% e 1,5% de adição EPS e PET em 3 níveis.

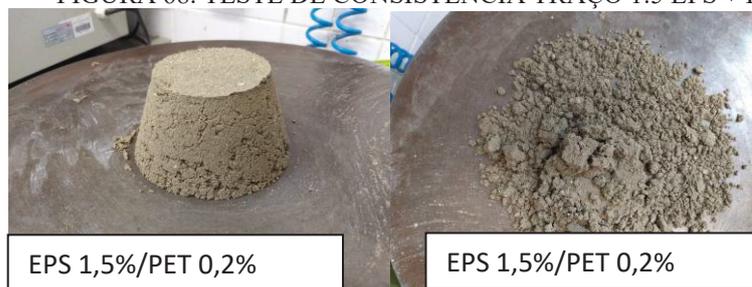
TABELA 31. RESULTADOS MÉDIOS DO EXPERIMENTO 2P – EPS + PET AOS 28 DIAS – EPS - TRAÇO BASE 1:5

IDENTIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS		ENSAIO/RESULTADO					
TEOR DE ADIÇÃO BASE	TEOR DE ADIÇÃO PET	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	DENSIDADE (estado fresco)	ULTRASSOM	Res. à tração na flexão	Res. à compressão	
		cm	g/cm <sup>3</sup>	m/s	Tensão máxima (MPa)	Tensão máxima (MPa)	
1,0%	0,1%	24	1,4953	3,582	3,08	10,61	
1,0%	0,15%	25	1,5568	3,150	3,15	10,76	
1,0%	0,2%	24	1,4287	3,429	3,00	9,46	
1,5%	0,1%	24	1,3397	3,288	3,03	10,09	
1,5%	0,15%	25	1,2755	3,446	3,18	10,62	
1,5%	0,2%	29	1,2974	3,381	3,17	9,71	

FONTE: A autora (2022).

a. **CONSISTÊNCIA:** Acompanhando o comportamento das misturas já analisadas com aparas de papel termossensível, os índices indicaram estados mais consistentes que o padrão.

FIGURA 68. TESTE DE CONSISTÊNCIA TRAÇO 1:5 EPS + PET



FONTE: A autora (2022)

O comportamento do Sp6 (com 0,2% de adição de lã de PET) teve índice de consistência mais próxima à do padrão, e mais uma vez, o espalhamento se deu pelo desmoronamento das partículas e não por fluidez da massa. As imagens da FIGURA 68 demonstraram que os grumos de lã de PET praticamente sumiram nas misturas com EPS, após os ajustes de teores.

b. **COMPORTAMENTO MECÂNICO:** as análises dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão caracterizam o comportamento mecânico dos compósitos e estão apresentadas nesse item.

i. **TRAÇÃO NA FLEXÃO**

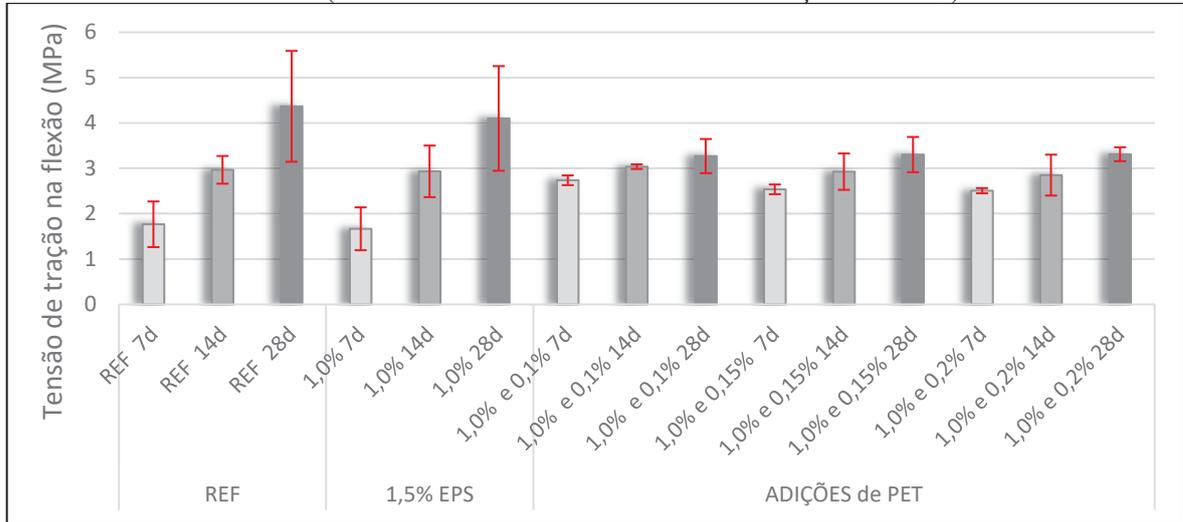
Os resultados individuais, tiveram valores uniformes entre os dois teores de EPS (1% e 1,5%), variando entre 3,00 MPa e 3,18 MPa. Todos ficaram dentro dos valores especificados como mínimos pela norma brasileira, portanto se mostram adequados ao fator de redução da norma (0,7), chega-se a 2,8 Mpa como valor mínimo exigido.

A FIGURA 69 apresenta de modo comparativo os resultados da TABELA 31. Ainda nessa análise se considerou importante a comparação entre os valores dos compósitos padrão (sem adições), com 1% de teor de adição de EPS combinados com os teores de 0,1%, 0,15% e 0,2% de fibras de lã de PET. É possível perceber que, houve diminuição nos valores dos resultados dos compósitos com adição de PET em relação aos sem adição. A FIGURA 70 apresenta os resultados da TABELA 31 relativos aos compósitos com 1,5% de teor de adição de EPS combinados com os teores de 0,1%, 0,15% e 0,2% de fibras de PET.

Nessa série os compósitos estão identificados por “ET0”, o compósito padrão sem adições e “ET1~” os compósitos com adições de lã de PET nos teores de 0,1%, 0,15% e 0,2%. Apesar dos valores menores, segundo a análise de Tukey, as diferenças não foram significativas, como se pôde perceber observando-se a FIGURA 70. Essa análise levou à escolha do compósito com 0,20% de adição de lã de PET, pois considerou-se o acréscimo de

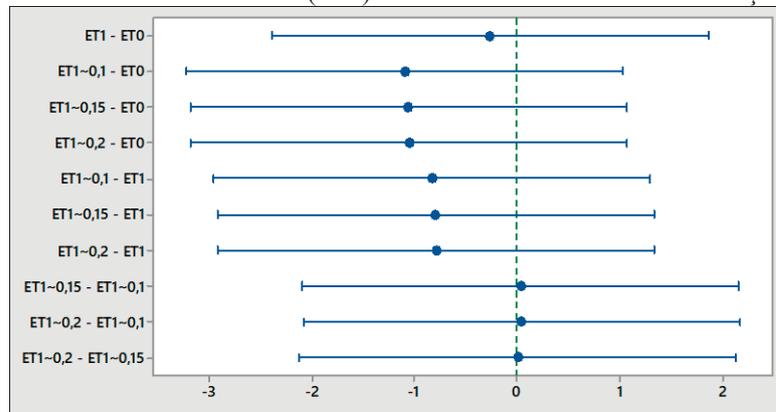
material de RSU como favorável ao uso sustentável de recursos, tendo sido mantido o limite mínimo estabelecido pela norma técnica de 2,8MPa.

FIGURA - 69. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (EPS 1% + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:5)



FONTE: A autora (2022)

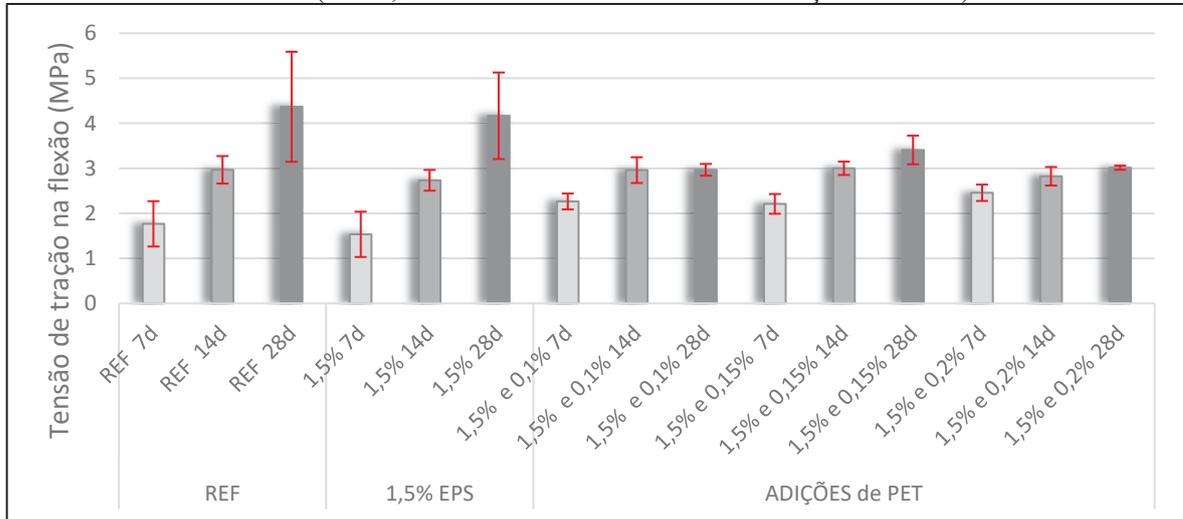
FIGURA – 70. TESTE DE TUKEY PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS COMPÓSITO DE EPS - 1% (ET1) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:5



FONTE: A autora (2022)

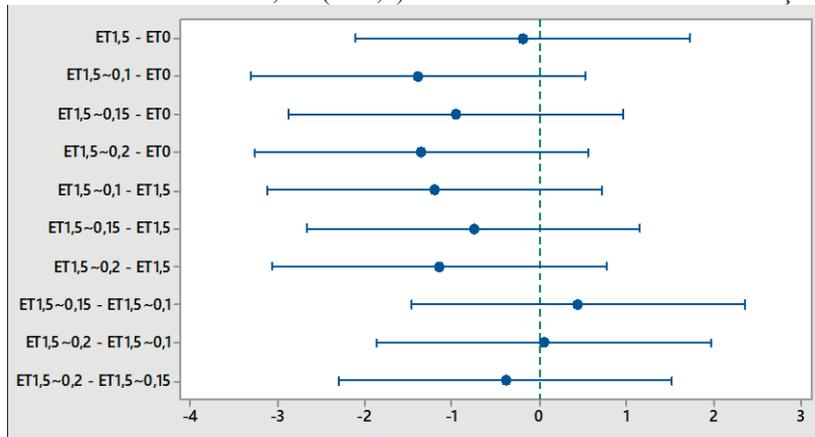
Assim como no caso anterior, as variações da resistência à tração na flexão ocorreram em todas as idades. A FIGURA 71 apresenta os valores de resistência na idade de 28 dias. Não é possível afirmar que os valores, aos 28 dias tiveram DMS somente pela análise gráfica. Assim, complementando o raciocínio e a análise, a FIGURA 72 traz maior clareza à comparação. A análise das diferenças mínimas significativas (DMS), demonstrou que os resultados são semelhantes. Não se produziram alterações significativas nos resultados.

FIGURA - 71. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (EPS 1,5% + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:5)



FONTE: A autora (2022)

FIGURA – 72. TESTE DE TUKEY PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS COMPOSITO DE EPS – 1,5% (ET1,5) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:5

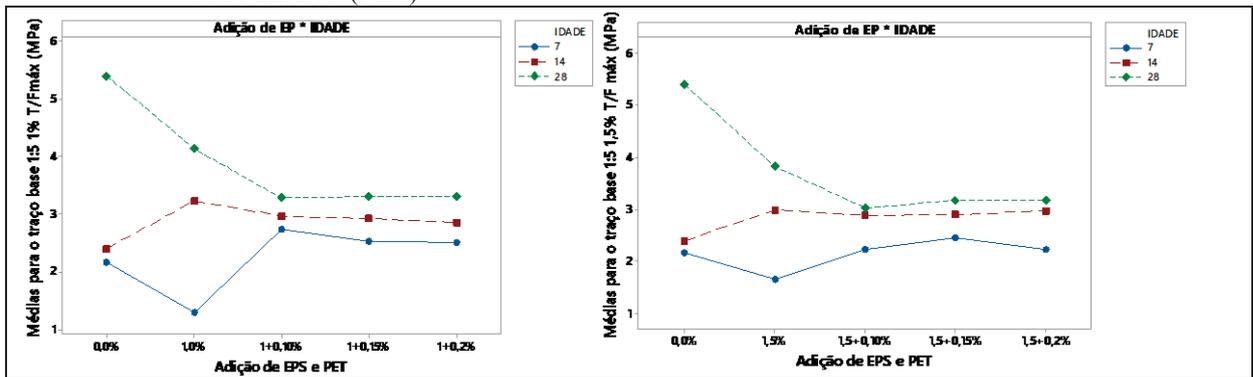


FONTE: A autora (2022)

Na interpretação dos efeitos principais dos compósitos, comparados por teor de EPS e por teor de fibras de PET, os dois gráficos da FIGURA 73 mostraram que, aos 28 dias, os resultados dos compósitos com adição de PET tiveram valores menores que os sem adições (padrão estabelecido para comparação nesta pesquisa) ou com adição de EPS somente. A evolução gráfica demonstrou que houve equilíbrio nos resultados dos compósitos com os dois tipos de adição. Com o resultado que já havia sido considerado pela observação da

análise de DMS (FIGURA 72) aos 28 dias, optou-se pelos compósitos com os teores de adição (1,5% + 0,2%). Mais uma vez, os resultados atendem à norma brasileira e ao quesito sustentabilidade proposto nesta tese.

FIGURA - 73. GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA TENSÃO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)

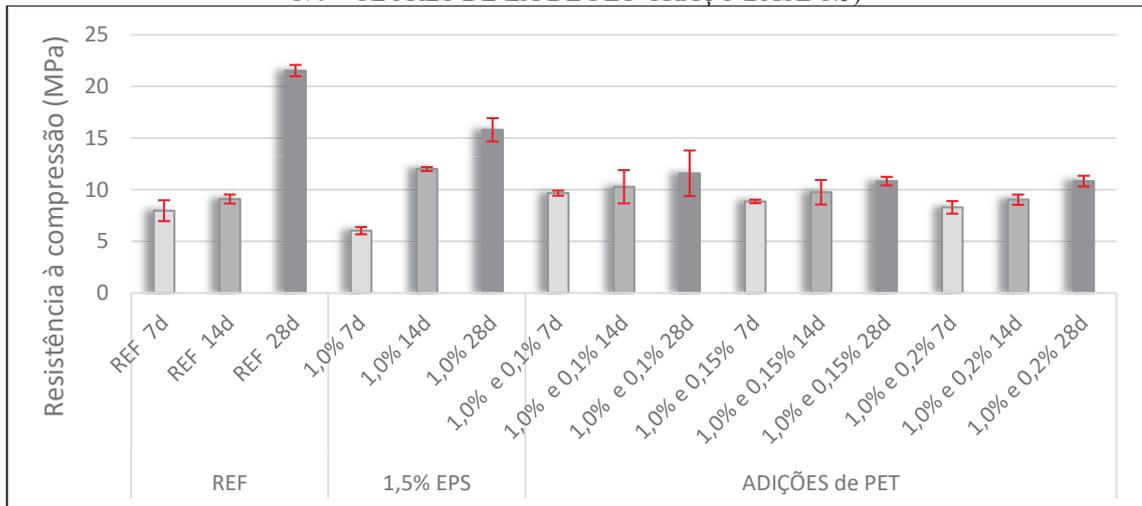


FONTE: A autora (2022)

ii. COMPRESSÃO

O comportamento mecânico dos compósitos, considerando os resultados dos testes e a ANOVA, está representado na FIGURA 74 e na FIGURA 75.

FIGURA - 74. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (EPS 1% + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:5)

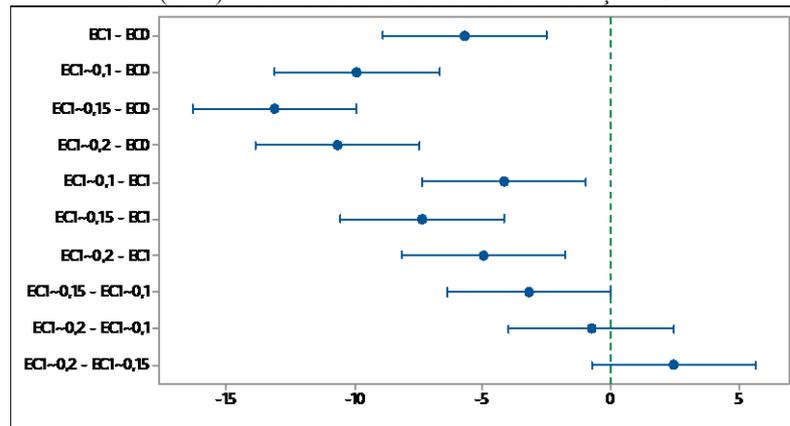


FONTE: A autora (2022)

A resistência à compressão dos compósitos com adição de fibras de lã de PET teve resultados menores do que os sem adição ou dos com adição somente de EPS. Na análise por comparação das diferenças das médias (DMS), a FIGURA 75 apresenta o teste de Tukey.

Pela análise demonstrada na FIGURA 75, foi possível perceber que os teores de lã de PET provocaram modificações significativas no comportamento dos compósitos na resistência à compressão. No entanto, entre os compósitos com teores de fibra de lã de PET com o teor de 1% de PET, ([EC1~0,15-EC1~0,1], [EC1~0,2-EC1~0,1] e [EC1~0,2-EC1~0,15]), as diferenças não foram significativas.

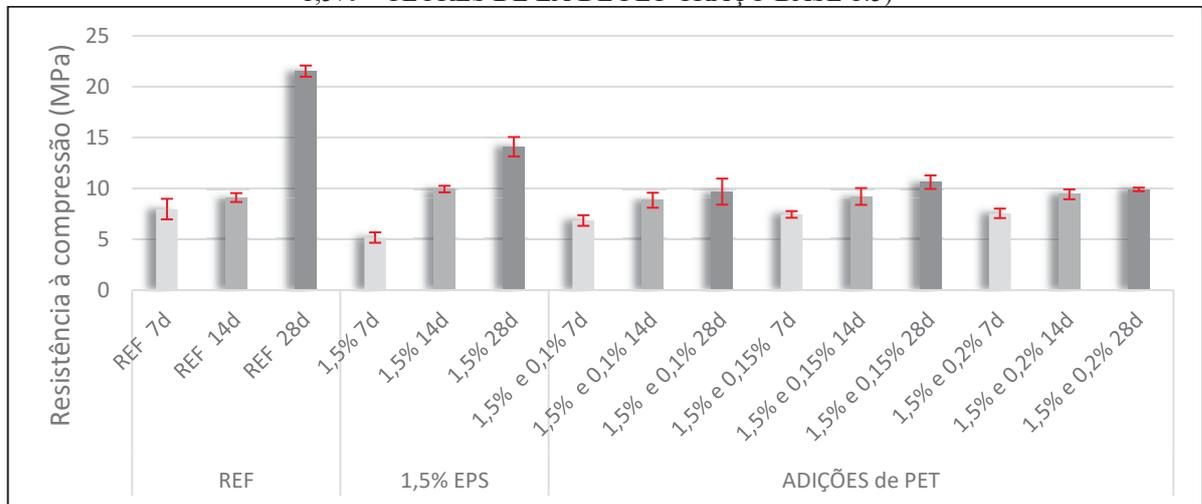
FIGURA – 75. TESTE DE TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COMPÓSITO DE EPS 1% (EC1) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:5



FONTE: A autora (2022)

O gráfico da FIGURA 76 mostra que houve influência das adições de lã de PET nos resultados dos testes de resistência à compressão. As adições fizeram com que os compósitos apresentassem resultados mais baixos em comparação aos compósitos das fases anteriores. E na comparação os valores da resistência do compósito padrão, sem adições, foi praticamente o dobro do maior resultado dos compósitos com adições de fibra de lã de PET.

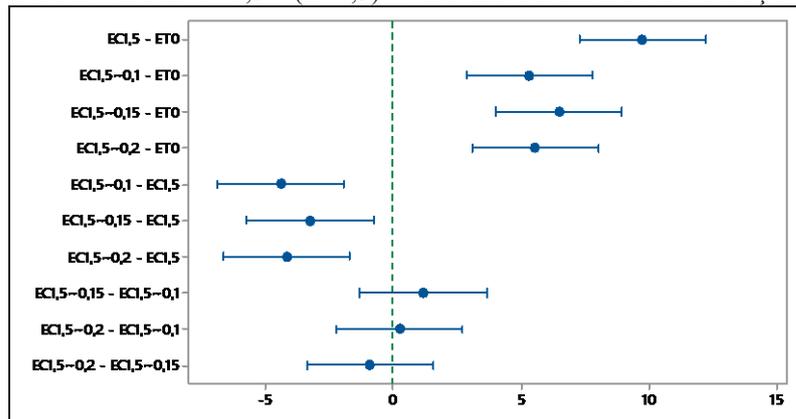
FIGURA - 76. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – VALORES MÉDIOS AO LONGO DO TEMPO (EPS 1,5% + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO BASE 1:5)



FONTE: A autora (2022)

A FIGURA 77, permite perceber que os teores de lã de PET produziram DMS em relação aos demais compósitos na resistência à compressão. Nessa série, novamente se repetem as similaridades entre os três pares com adições de fibras de lã de PET, ([EC1~0,15-EC1~0,1], [EC1~0,2-EC1~0,1] e [EC1~0,2-EC1~0,15]).

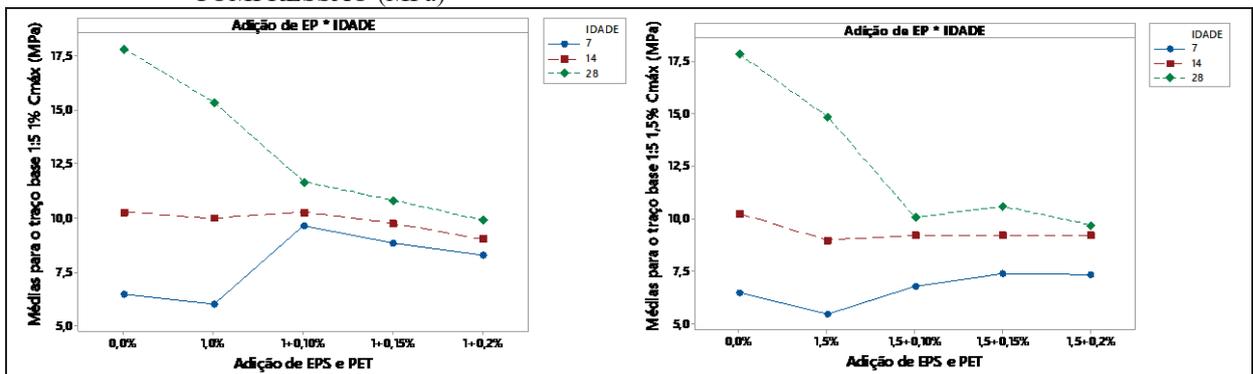
FIGURA – 77. TESTE DE TUKEY PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COMPOSITO DE EPS - 1,5% (EC1,5) + TEORES DE LÃ DE PET-TRAÇO 1:5



FONTE: A autora (2022)

A FIGURA 78 apresenta os gráficos de comparações dos resultados médios nas 3 idades em que os compósitos foram testados. Aos 28 dias os resultados mais elevados foram os dos compósitos sem qualquer tipo de adição seguidos pelos que tiveram adição somente de EPS.

FIGURA - 78. GRÁFICO DE INTERAÇÃO DOS EFEITOS PRINCIPAIS PARA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)

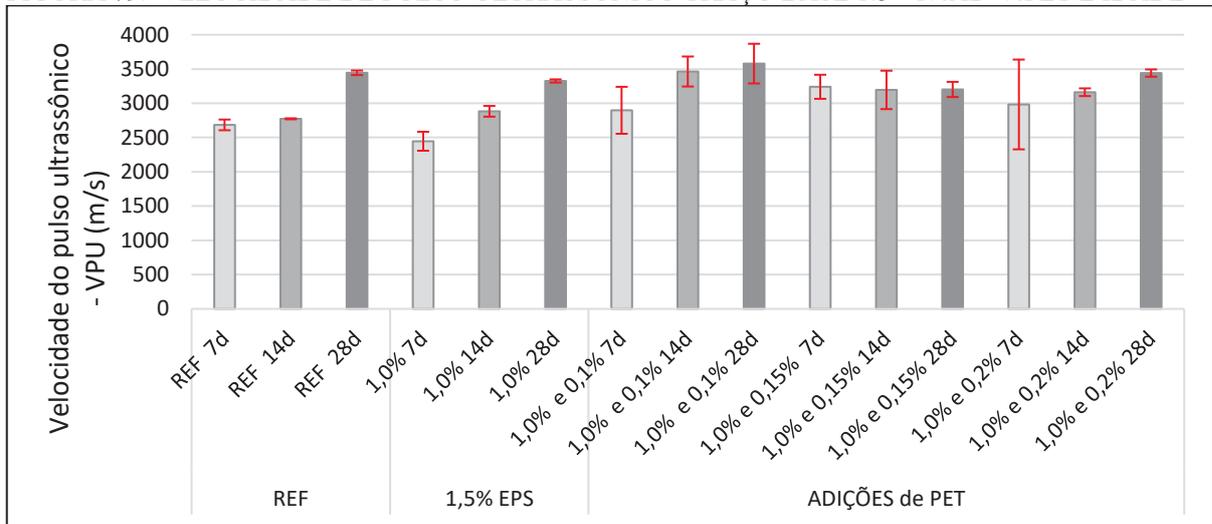


FONTE: A autora (2022)

c. **ULTRASSOM:** os resultados dos testes de VPU foram organizados em gráficos de barras para facilitar as comparações. Conforme se demonstrou nas FIGURAS 79 e 80, com o passar do tempo, houve uma

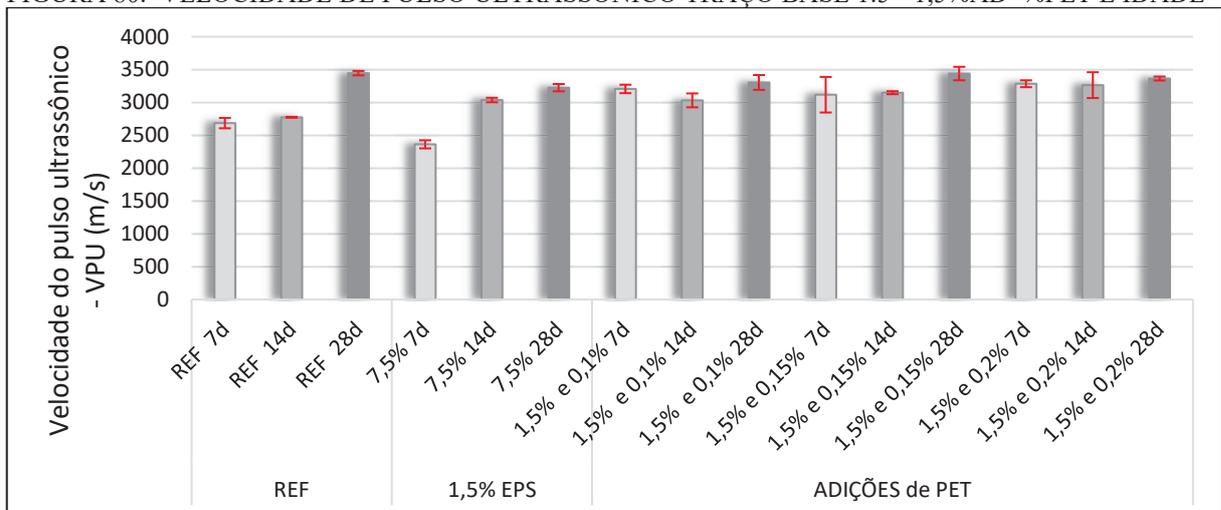
tendência de aumento da VPU para todos os teores de adição. Aos 28 dias, os compósitos com adições de EPS obtiveram resultados parecidos aos do compósito padrão, sem adições. Apesar da aparente semelhança, foi possível confirmar a ocorrência de evidências de DMS em duas situações nas comparações por pares. As DMS ocorreram com os compósitos com adição de 1,5% de EPS, primeiro com os compósitos sem adições (0%) e depois, com os compósitos com 1,5% + 0,15% (EPS +PET). Nas demais comparações, confirmou-se a condição de semelhança.

FIGURA 79. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:5 - 1%AD~%PET E IDADE



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 80. VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO TRAÇO BASE 1:5 - 1,5%AD~%PET E IDADE



FONTE: A autora (2022).

d. **MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO:** Aos 28 dias de idade, utilizando-se os resultados de ultrassom, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico dos novos compósitos (NBR 15630:08).

TABELA 29 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO PELA VPU – EPS + FIBRAS DE LÃ DE PET

TEOR DE ADIÇÃO	DE	%AD	ENSAIO/RESULTADO	TEOR DE ADIÇÃO	DE	%AD	ENSAIO/RESULTADO
IDENTIFICAÇÃO COMPOSITOS	DOS			IDENTIFICAÇÃO COMPOSITOS	DOS		
Espécime	%ADPET	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)		Espécime	%ADPET	MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO (GPa)	
0%	-	20,66		0%	-	20,21	
	-	17,50			-	15,75	
1% PET	0,10%	12,28		1,5% PET	0,10%	12,80	
	0,15%	11,61			0,15%	12,89	
	0,20%	13,56			0,20%	12,80	

FONTE: A autora (2022).

Os valores do módulo de elasticidade dinâmico pela propagação da onda ultrassônica, apresentados na TABELA 29, demonstraram que houve decréscimo dos valores na medida em que se acrescentaram as adições de EPS. Porém, nas combinações com adição de 1% de EPS com as fibras de lã de PET (nos 3 teores), os valores se tornaram erráticos, e para as misturas com 1,5% de EPS, apresentaram pouca variação, podendo ser considerados semelhantes sob o ponto de vista das DMS.

e. **VARIAÇÃO DIMENSIONAL:** a variação dimensional foi calculada a partir das recomendações da NBR15261:05. A variação dimensional dos corpos de prova teve os resultados apresentados na TABELA 30.

TABELA 30. VARIAÇÃO DIMENSIONAL MÉDIA DA DESFORMA AO 1º, 7º E 28º DIA (mm/m) EPS+PET

% DE ADIÇÃO	0%	1%	1,5%	1%+0,1%	1%+0,15%	1%+0,2%	1,5%+0,1%	1,5%+0,15%	1,5%+0,2%
IDADE									
desforma/1dia	-0,35	-0,4	-0,46	-0,12	0,02	-0,03	-0,12	-0,03	-0,09
desforma/7dias	-0,55	-1,00	-1,14	-0,24	-0,87	-0,24	-0,28	-0,14	-0,31
desforma/28 dias	-0,62	-0,75	-1,14	-0,37	-1,01	-0,23	-0,43	-0,20	-0,45

FONTE: A autora (2022).

Para melhor explicar, os valores da TABELA 30 foram submetidos ao teste de Tukey para que se pudessem detectar indícios de DMS. A análise permitiu perceber em dez

pares de comparação que, aos 28 dias, os compósitos com adição de 1% de EPS apresentaram DMS entre a maioria das comparações. Entre os pares de médias [1%~0%], [1%+0,1%~0%], [1%+0,2%~1%+0,1%] e [1%~1%+0,15%] divididos em 4 grupos distintos não ocorreram DMS. Quanto aos compósitos com adição de 1,5% de EPS e PET, dentre dez pares de comparação, outras 4 misturas não apresentaram indícios de DMS, mas dessa vez, em 2 grupos, [1,5%+0,15%~1,5%+0,1%~1,5%+0,2%~] e [1,5%+0,1%~1,5%+0,2%~0%]. Dessa forma, considerou-se que as fibras de lã de PET influenciaram os resultados dos compósitos com 1% de EPS e com exceção dos compósitos com 0,15% de PET, também não houve influência na série de misturas com 1,5% de EPS.

Assim sendo, nessa análise, quanto menor melhor, considerou-se que o melhor resultado, considerando as DMS foi o do compósito de 1,5%EPS com 0,2% PET. Seu resultado não apresentou indícios de DMS com o padrão escolhido para comparação (0% de adições) e ainda tem a vantagem de maior aproveitamento de materiais alternativos coletados de RSU. Por isso foi considerado como a melhor escolha da série de adições de EPS.

## 5 CONCLUSÕES

Ao se considerarem as análises dos resultados dessa fase de maneira global, foi possível concluir que os compósitos propostos têm potencial, para a produção de placas de fibrocimento dentro das exigências da norma brasileira (ABNTNBR15498, 2016).

Assim, na interpretação dos efeitos principais dos compósitos com aparas de papel termossensível, comparados pelo teor de adições, os resultados escolhidos como os mais adequados foram os dos compósitos com adição de 7,5% de aparas de papel termossensível acrescidos de 0,2% de fibras de lã de PET, visando resultados que atendessem à norma brasileira e ao quesito sustentabilidade. Apesar do decréscimo do valor do módulo de elasticidade quando comparados ao valor do compósito sem adições, a escolha teve como base a tendência de que com a adição das fibras, os valores da VPU fossem maiores do que os dos compósitos sem adições ou com adição somente de aparas de papel termossensível.

Quanto aos compósitos das misturas com teores de EPS e fibras de lã de PET, aos 28 dias, os resultados dos compósitos com adição de PET tiveram resultados menores que os sem adições (padrão estabelecido para comparação nesta pesquisa) ou com adição de EPS somente. Por isso, optou-se pelos compósitos com os teores de adição (1,5% + 0,2%), pois os resultados atendem à norma brasileira e ao quesito sustentabilidade proposto nesta tese.

Com o passar do tempo, houve uma tendência de aumento da VPU para todos os

teores de adição e, aos 28 dias, os compósitos com adições de EPS obtiveram resultados parecidos aos do compósito padrão, sem adições. Os testes de DMS confirmaram a condição de semelhança. Houve decréscimo dos valores do módulo de elasticidade dinâmico na medida em que se acrescentaram as adições de fibras de lã de PET. Porém, as misturas com 1,5% de EPS, apresentaram pouca variação, podendo ser considerados semelhantes sob o ponto de vista das DMS.

Dessa forma, o compósito de EPS e fibra de lã de PET [1,5% + 0,2%] apresentou resultados sem indícios de DMS com o padrão escolhido para comparação (0% de adições), com a vantagem de maior aproveitamento de materiais alternativos coletados de RSU.

Os dois materiais que foram selecionados para essa pesquisa são as aparas de papel termossensível e EPS triturado, extraídos de rejeitos de RSU e depois, um outro material foi escolhido, também produzido a partir de resíduos, as fibras de lã de PET.

Por fim, na comparação, foi possível considerar como o melhor resultado para a próxima etapa dessa pesquisa, a fase de moldagens das placas, blocos e bloquetes, os compósitos com [7,5%+0,2%] composto de aparas de papel termossensível e com [1,5% + 0,2%], com EPS e fibra de lã de PET, que permaneceram no mesmo grupo dos seus respectivos compósitos padrão, sem adições.

Dessa forma, concluiu-se que até a FASE III, a adição de fibras de lã de PET foi benéfica aos compósitos, que tiveram resultados semelhantes aos padrões de comparação e ainda possibilitam o aproveitamento de rejeitos problemáticos de RSU.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738:2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, Rio de Janeiro, 2016

\_\_\_\_\_. NBR 8802:2019 - Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. NBR 9779:2012 - Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. ABNT, Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação. ABNT, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR 13230:2008 - Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 13276:2016 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15261:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15395:2006 - Garrafa soprada de PET para refrigerantes e águas - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. NBR 15498:2016 - Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 15588:2008 - Pré-forma de PET para sopro de embalagem para alimentos e bebidas - Requisitos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR15630:2008 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 15988:2009 - Plásticos - Filme e revestimento de poli(tereftalato de etileno) (PET) biorientado. ABNT, Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR16687:2018 - Cimento Portland – Requisitos. ABNT, Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_. NBR16832:2020 - Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall – Lãs de PET para isolamento térmico e acústico – Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 2020.

CHARNOCK, C.. **A simple and novel method for the production of polyethylene terephthalate containing agar plates for the growth and detection of bacteria able to hydrolyze this plastic.** 2021. *Journal of Microbiological Methods* 185 (2021) 106222. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0167701221000907?token=9886C6DEE9B8E112ED08B32899C2C410A72DDE424266F10B3BAE3F1C0E56DEDEDCCB013C521EE0B0653CD6D0AE7CBE34&originRegion=us-east-1&originCreation=20220212123249>. Acesso em: 12 fev. 2022.

DETOMI, A. C.; RIBEIRO FILHO, S. L. M.; PANERA, T. H.; SCHIAVON, M. A. Replacement of Quartz in Cementitious Composites Using PET Particles: A Statistical Analysis of the Physical and Mechanical Properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 28, n. 1, p. 06015006, jan. 2016. Disponível EM: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0001358>>. Acesso em 12 mar. 2022

NOVÁKOVÁ, K., ŠEPS, K., ACHTEN, H. (2017). Experimental development of a plastic bottle usable as a construction building block created out of polyethylene terephthalate: Testing PET(b)rick 1.0. *Journal of Building Engineering*, 12, 239–247. doi:10.1016/j.jobe.2017.05.015. Disponível em:< <https://sci-hub.se/10.1016/J.JOBE.2017.05.015>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

RECICLOTECA. **Plástico: história, composição, tipos, produção e reciclagem.** 2020. Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/plastico/>. Acesso em: 12 fev. 2022.

## APÊNDICE 2 – Publicações produzidas em 2018 pelas Revisões de Literatura sobre temas correlatos à pesquisa.

Trabalhos publicados no CONBREPPO 2018 e disponíveis nos anais do congresso.

- a) Estudo dos materiais alternativos para a montagem de painéis de vedação para a construção civil: uma revisão sistemática da literatura

Janilce dos Santos Messias Negrão (UFPR) janilce@janilce.com  
 Gabriella Moreira (UFPR) gabriellamoreiraaa@gmail.com  
 Thaisa Lana Pilz (UFPR) thaisa.pilz@gmail.com  
 Nicolle Christine Sotsek (UFPR) nicolleramos@ufpr.br  
 Marcell Mariano Correia Maceno (UFPR) marcell.maceno@gmail.com

### Resumo:

A construção civil representa um dos setores que mais move a economia no Brasil e no mundo. Em 2010, essa indústria refletia aproximadamente 5 a 15% do PIB nacional, o que fez com que ganhasse espaço entre os estudos científicos. Porém, devido à preocupação com o meio ambiente surgida nas últimas décadas, fizeram-se necessários estudos que promovessem o desenvolvimento sustentável, termo definido em 1987. Diante dessa situação, este trabalho tem como objetivo a realização de uma revisão sistemática para analisar estudos acerca de materiais alternativos para a montagem de painéis de vedação destinados à construção civil, que tivesse cimento em sua composição. A pesquisa foi conduzida pelas bases de dados *Scielo* e *ScienceDirect*. Como critério de elegibilidade foi levado em consideração o idioma da pesquisa, como também seu ano de publicação, título, formato de texto e resumo. Inicialmente, juntando todas as bases de dados selecionadas, foram obtidos 491 artigos. Após todo o processo de filtragem, esse número foi reduzido para 4, que foram utilizados nesse trabalho de revisão sistemática.

**Palavras chave:** Materiais compósitos, Painéis de vedação, Placas cimentícias, Materiais alternativos, Construção civil, Revisão sistemática da literatura.

### Study of alternative materials for the assembly of sealing panels for civil construction: a systematic review of the literature

#### Abstract

Civil construction represents one of the sectors that most moves the economy in Brazil and in the world. In 2010, this industry reflected approximately 5 to 15% of the national GDP, which was responsible for the gain of space among scientific studies. However, due to the concern with the environment that emerged in the last decades, appeared the need of studies that could promote sustainable development, a term defined in 1987. In view of this situation, this work aim at a systematic review to analyze studies about alternative materials for the assembly of sealing panels for civil construction, which had cement in its composition. The Scielo and ScienceDirect databases conducted the research. As eligibility criteria, were considered the language of the study, as well as its year of publication, title, text format and abstract. Initially, with the sum of articles from all databases, 491 were obtained. After the entire filtering process, this number was reduced to 4, which were used in this systematic review work.

**Key-words:** Composite materials, Sealing panels, Cement plates, Alternative materials, Civil construction, Systematic review of the literature.

## 1. Introdução

A construção civil é uma das atividades econômicas mais importantes e impactantes do planeta (CAMPOS, 2012). Devido ao seu crescimento nos últimos anos, essa indústria passou a representar aproximadamente 5 a 15% do PIB nacional (CBIC, 2010). Porém, juntamente ao crescimento econômico, vem a responsabilidade ambiental. Dessa forma, é interessante citar a mudança no conceito de crescimento econômico, o qual deixou de ser percebido como apenas condição necessária e suficiente para, então, ser associado também à promoção do bem-estar social (MEIER, 2001). Nesse contexto, surge a necessidade de aprofundar as pesquisas sobre a construção civil e a sustentabilidade.

Segundo Jalali e Torgal (2010), a indústria de construção civil é responsável por 30% das emissões de carbono e, em uma pesquisa feita por Schneider e Philippi (2004), foram coletados dados que evidenciam esse setor em âmbito mundial como um dos responsáveis pela geração de resíduos sólidos. Diante desse cenário, deve-se retomar o termo “desenvolvimento sustentável”, definido pela Comissão Mundial sobre Meio ambiente e Desenvolvimento – Relatório de Brundtland, que se refere ao desenvolvimento da sociedade atual sem comprometer as necessidades das futuras gerações (WCED, 1987).

A sustentabilidade, no que se refere à construção civil, pode estar presente de diversas formas, como por exemplo, pela redução de volume de resíduos ou até mesmo pela reutilização desses. De acordo com Borgo e Mymrine (2007), Solyon (2009) e Meyer (2012), a pesquisa acerca do reaproveitamento de resíduos sólidos industriais tem sido estudada por muitos pesquisadores do Brasil e do mundo. Ao adicionar a um resíduo um valor agregado que gere um produto comercial, é possível falar de vantagens, visto que, por exemplo, essa atitude implica em ganho econômico devido ao comércio com outros setores (CHEAH e RAMILI, 2011; PAKI TURGUT e ALGIN, 2007; SIDDIQUE, 2012; UDOEYO et al, 2006).

Assim sendo, o objetivo deste trabalho – classificado como revisão sistemática da literatura – foi analisar os diversos estudos sobre construção civil com foco em painéis, cuja composição fosse classificada como cimentícia. Foram selecionados aqueles estudos que traziam materiais que pudessem ser utilizados na fabricação de painéis considerando seu potencial quanto à reutilização após o descarte, ou seja, que pudessem ser retirados do material descartado e posteriormente reaproveitados, e também utilizassem o cimento Portland.

## 2. Método de pesquisa

Uma revisão sistemática da literatura é um tipo de pesquisa que utiliza bases de dados científicos e um processo de filtragem de maneira a eliminar e considerar apenas os estudos previamente selecionados com base nos termos de busca escolhidos. O objetivo dessa forma de revisão é selecionar os estudos que mais se adequam ao tema a ser estudado, a fim de excluir aqueles que, para aquele tema, não seriam tão interessantes. Pensando nisso, para este trabalho foi utilizada a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, conhecida como PRISMA (MOHER et al, 2009).

O método descrito pelo grupo PRISMA consiste em um *checklist* com 27 itens e um fluxograma de quatro etapas a serem incluídos na revisão sistemática para guiar os escritores em uma escrita mais organizada e completa, o que facilita, consequentemente, a leitura. Porém, para esse trabalho foi descartado o último item do *checklist*, que se refere ao financiamento, visto que não houve FONTES de financiamento para a execução deste estudo. Logo, obtiveram-se, no total, 26 itens para o *checklist* e um fluxograma sobre as etapas de filtragem.

A busca de artigos para a revisão sistemática da literatura sobre o tema do presente trabalho – Materiais alternativos para a montagem de painéis de vedação para a construção civil – utilizou

as bases de dado *Scielo* e *ScienceDirect*, de julho a setembro de 2018. Devido ao fato de o tema do projeto ser amplo, já que há vários tipos de painéis e misturas que podem ser agregadas a estes, foi definida e aplicada a estratégia de busca, que objetivava a procura por materiais diferentes daqueles já estabelecidos no mercado e que apresentassem, também, viabilidade, sobretudo financeira e ambiental

Assim, para a pesquisa, definiram-se os seguintes termos de busca: *painéis de madeira; painéis OSB; painéis aglomerados; painéis com resíduos; painéis MDF; painéis com cana-de-açúcar; painéis com polímeros; painéis de EPS; painéis de cimento; painéis com fruta; painéis para construção civil; painéis com casca de amendoim; painéis com casca de arroz; painéis com milho; painéis com soja; painéis com PET; painéis com café, placas cimentícias*. A busca foi definida com base em materiais comuns no território brasileiro e que são muitas vezes descartados, mas que apresentam potencial para a reutilização.

Na fase referente à inclusão de artigos, critérios foram criados e utilizados para tornar a pesquisa mais eficiente. Esses critérios são: métodos descritos de forma concisa, com foco em painéis viáveis de acordo com o cenário brasileiro, principalmente no que se refere à sustentabilidade; presença de compósitos cimentícios; textos com publicação a partir de 2008 e disponíveis na íntegra; e estudos observacionais, os quais desejavam analisar a viabilidade dos painéis referidos no artigo. Além disso, durante essa etapa foi feita a exclusão de estudos não viáveis financeiramente ou cujos materiais utilizados não condiziam com a realidade brasileira.

Após a pesquisa nas bases de dados e o cumprimento das estratégias de busca, alguns títulos iguais estavam presentes nos diferentes termos de busca utilizados. Para esse caso, o título permaneceu em apenas um, o que se deu de forma aleatória, portanto houve sua eliminação nos demais termos de busca.

Para a parte da extração de dados, elaborou-se uma planilha no Excel contendo dados do artigo (nome, autor, ano de publicação, base de dados ou periódicos) e informações coletadas a partir de sua leitura (assunto – frase para resumir o objetivo principal da pesquisa –; tipo de painéis; resina, resíduo e compósito empregados – quando empregados). A finalidade dessa planilha no Excel foi resumir as informações presentes nos textos de forma clara e objetiva, para organizar as ideias na escrita deste trabalho e, também, facilitar o desenvolvimento de futuras pesquisas.

### 3. Resultados

O resultado foi dividido de acordo com a sequência de filtragem proposta. Assim, para cada etapa de seleção das pesquisas, foi apresentada uma tabela, que contém a quantidade de estudos retidos pelos filtros. Porém, antes de iniciar a filtragem, foi pesquisada a quantidade de artigos selecionados para cada termo de busca e base de dado utilizados, conforme mostra a Tabela 1.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	Scielo	ScienceDirect
Painéis madeira	131	42
Painéis OSB	20	0
Painéis aglomerados	55	6
Painéis resíduos	39	23
Painéis MDF	17	4
Painéis cana-de-açúcar	4	6
Painéis polímeros	5	19
Painéis EPS	2	3
Painéis cimento	12	15
Painéis construção civil	9	26

Tabela 1 – Número de artigos obtidos sem filtragens

Painéis casca de amendoim	4	1
Painéis casca de arroz	5	3
Painéis milho	2	6
Painéis soja	3	8
Painéis pet	2	8
Painéis café	2	6
Placas cimentícias	2	1

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 1 – Número de artigos obtidos sem filtragem (continuação)

Como pode-se observar na Tabela 1, os termos se encontram apenas em português. Isto ocorre uma vez que esta pesquisa foi feita na Universidade Federal do Paraná, e o foco do trabalho foi buscar estudos que pudessem ser desenvolvidos no Brasil. Assim, a busca em português foi definida como primeira etapa de seleção, que foi executada na base de dado *Scielo*, já que dentre as bases identificadas é a única base de dado selecionada que oferece a opção avançada para a seleção do idioma português.

Tanto a base de dados *Scielo* quanto a *ScienceDirect* são bases em inglês, entretanto, mesmo com termos de busca definidos em português, 491 estudos foram encontrados. Logo, foi possível realizar esta revisão sistemática. Assim sendo, pode-se constatar que essa primeira filtragem não gerou resultados satisfatórios. O resultado obtido após essa primeira etapa foi apresentado na Tabela 2.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	Scielo	ScienceDirect
Painéis madeira	102	42
Painéis OSB	19	0
Painéis aglomerados	41	6
Painéis resíduos	31	23
Painéis MDF	14	4
Painéis cana-de-açúcar	3	6
Painéis polímeros	5	19
Painéis EPS	2	3
Painéis cimento	11	15
Painéis construção civil	9	26
Painéis casca de amendoim	4	1
Painéis casca de arroz	4	3
Painéis milho	0	6
Painéis soja	2	8
Painéis pet	2	8
Painéis café	1	6
Placas cimentícias	2	1

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 2 – Número de artigos obtidos após a primeira filtragem

Para a segunda filtragem, foi utilizado o período de publicação do artigo. Dessa forma, como o tema deste trabalho é relativamente recente, artigos publicados desde 2008 foram selecionados, visto que no geral são mais atualizados.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	SciELO	ScienceDirect
Painéis madeira	83	41
Painéis OSB	14	0
Painéis aglomerados	35	6
Painéis resíduos	28	23
Painéis MDF	12	4
Painéis cana-de-açúcar	3	6
Painéis polímeros	4	19
Painéis EPS	2	2
Painéis cimento	6	15
Painéis construção civil	8	26
Painéis casca de amendoim	4	1
Painéis casca de arroz	4	3
Painéis milho	0	6
Painéis soja	2	7
Painéis pet	1	8
Painéis café	1	5
Placas cimentícias	2	1

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 3 – Número de artigos obtidos após a segunda filtragem

O terceiro filtro aplicado foi referente ao tipo de artigo. Foram excluídos os relatos de casos, mini-avaliações, comunicações breves, capítulos de livro e outros formatos de texto que não passam por rígidos critérios de avaliação, tal como ocorre com artigos científicos. Nesse filtro, para a base *SciELO* não houve grandes variações, visto que apenas um – do total de artigos selecionados até aqui – se encaixava em um dos formatos escolhidos como critérios de exclusão. O resultado dessa etapa foi mostrado na Tabela 4.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	SciELO	ScienceDirect
Painéis madeira	83	4
Painéis OSB	14	0
Painéis aglomerados	35	1
Painéis resíduos	28	2
Painéis MDF	12	0
Painéis cana-de-açúcar	3	0
Painéis polímeros	4	5
Painéis EPS	2	1
Painéis cimento	6	2
Painéis construção civil	7	4
Painéis casca de amendoim	4	0
Painéis casca de arroz	4	0
Painéis milho	0	0
Painéis soja	2	0
Painéis pet	1	3
Painéis café	1	1
Placas cimentícias	2	0

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 4 – Número de artigos obtidos após a terceira filtragem

Como pôde-se notar, a partir da última tabela apresentada (Tabela 4), mesmo após três filtrações vários artigos restaram. Como forma de selecionar as pesquisas que mais se relacionam ao tema proposto, a quarta filtragem foi feita. Dessa vez o tema foi analisado. Temas cujo objetivo não se baseava em materiais para a montagem de painéis de vedação foram excluídos, já que a busca de materiais para painéis de vedação para a construção civil foi o foco deste trabalho.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	Scielo	ScienceDirect
Painéis madeira	38	1
Painéis OSB	4	0
Painéis aglomerados	25	1
Painéis resíduos	18	0
Painéis MDF	1	0
Painéis cana-de-açúcar	2	0
Painéis polímeros	3	0
Painéis EPS	1	0
Painéis cimento	2	1
Painéis construção civil	2	1
Painéis casca de amendoim	4	0
Painéis casca de arroz	4	0
Painéis milho	0	0
Painéis soja	0	0
Painéis pet	1	0
Painéis café	1	0
Placas cimentícias	2	0

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 5 – Número de artigos obtidos após a quarta filtragem

É interessante observar a diminuição de quantidade de pesquisas na plataforma *ScienceDirect* após a quarta filtragem. Isso ocorreu pelos critérios de seleção, sobretudo pela escolha do idioma português e pela exclusão de vários formatos de textos – nesse caso, o principal responsável foi o capítulo de livro.

Após fazer a listagem de todas as pesquisas selecionadas com as quatro filtrações realizadas, pôde-se observar a presença de textos repetidos entre os termos de busca utilizados para cada base de dados. Então, a quinta etapa de seleção foi feita. Esta foi responsável por deixar um título único, ou seja, que aparecesse uma única vez para cada base de dados. A permanência de apenas um único título por plataforma utilizada ocorreu de forma aleatória.

Com a quinta filtragem, a base *Scielo* teve redução significativa na quantidade de textos selecionados. Anteriormente o número de trabalhos era 108 e depois da eliminação de artigos duplicados, restaram 56 artigos. A redução se deu também na plataforma *ScienceDirect*, que passou de 4 estudos para apenas 1, visto que eram iguais.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	Scielo	ScienceDirect
Painéis madeira	37	1
Painéis OSB	2	0
Painéis aglomerados	8	0
Painéis resíduos	4	0
Painéis MDF	0	0
Painéis cana-de-açúcar	2	0
Painéis polímeros	0	0
Painéis EPS	1	0
Painéis cimento	0	0
Painéis construção civil	0	0

Tabela 6 – Número de artigos obtidos após a quinta filtragem

Painéis casca de amendoim	0	0
Painéis casca de arroz	0	0
Painéis milho	0	0
Painéis soja	0	0
Painéis pet	0	0
Painéis café	0	0
Placas cimentícias	2	0

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 6 – Número de artigos obtidos após a quinta filtragem (continuação)

A sexta etapa foi caracterizada pela leitura do resumo, para saber a real intenção das pesquisas selecionadas. Muitos artigos não seguiam o verdadeiro objetivo desta pesquisa, portanto não foram utilizados. Caso o resumo não fosse suficiente para indicar a elegibilidade do artigo, a leitura na íntegra era feita.

Palavras-chave	BASE DE DADOS	
	SciELO	ScienceDirect
Painéis madeira	15	0
Painéis OSB	0	0
Painéis aglomerados	3	0
Painéis resíduos	3	0
Painéis MDF	0	0
Painéis cana-de-açúcar	1	0
Painéis polímeros	0	0
Painéis EPS	1	0
Painéis cimento	0	0
Painéis construção civil	0	0
Painéis casca de amendoim	0	0
Painéis casca de arroz	0	0
Painéis milho	0	0
Painéis soja	0	0
Painéis pet	0	0
Painéis café	0	0
Placas cimentícias	2	0

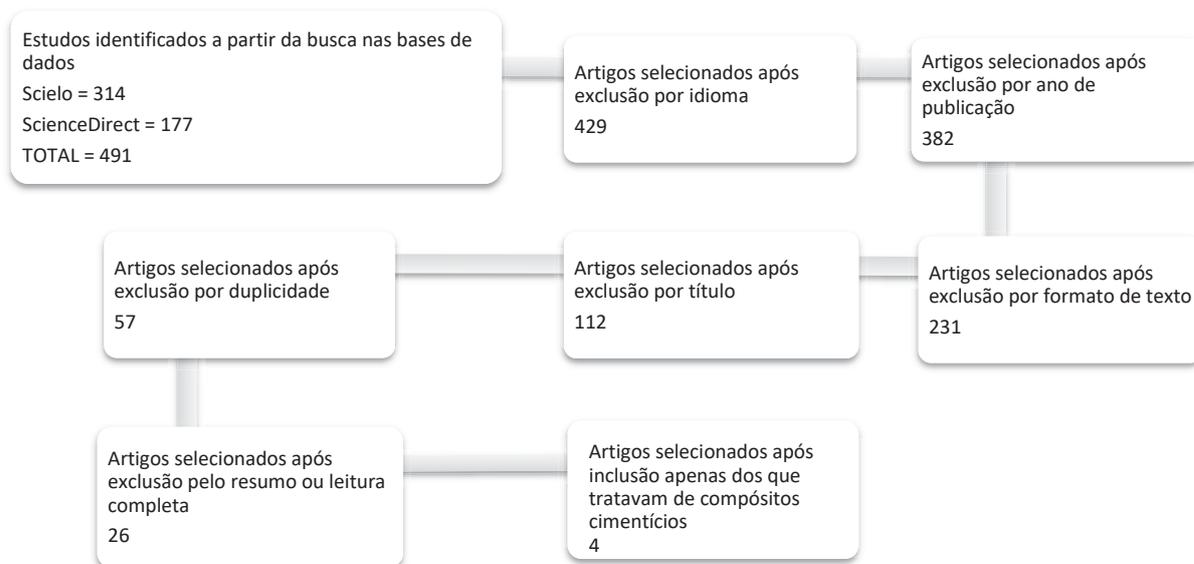
FONTE: Os autores (2018)

Tabela 7 – Número de artigos obtidos após sexta filtragem

Com seis filtrações já realizadas, foi feita uma contagem a fim de visualizar numericamente o resultado obtido. No começo, sem nenhuma etapa de seleção de trabalhos, como é visto na Tabela 1, foram identificados 491 estudos com os termos de busca utilizados nas duas bases de dados. Ao final das etapas até então feitas, esse número foi reduzido para 25 trabalhos, como é possível ver na Tabela 7.

Porém, para encerrar a etapa de filtragem, foi feita a sétima. Esta consistia em filtrar as pesquisas que tinham cimento em suas composições. Dessa forma, de 25 anteriormente selecionados, restaram apenas 4 na base de dados SciELO.

Para possibilitar uma melhor visualização de resultados, foi elaborado um fluxograma para representar a quantidade de trabalhos selecionados a cada etapa conforme a FIGURA 1.



FONTE: Os autores (2018)

FIGURA 1 – Fluxo da informação com as diferentes fases de uma revisão sistemática.

Após a montagem e análise do fluxograma, foi necessária a extração de dados. Para esta etapa, criou-se uma planilha no Excel com tópicos previamente pensados e discutidos que pudessem organizar as ideias e os objetivos dos estudos selecionados. Os tópicos utilizados foram: nome do estudo; ano de publicação; autores; base de dados em que foi encontrado; assunto (uma frase para resumir a intenção/ o objetivo do trabalho); tipo de painel e perguntas relacionadas à sua composição, tais como a resina empregada e o compósito utilizado, entre outros

#### 4. Discussão

Para essa etapa do trabalho, foi elaborada uma planilha no Excel com a ferramenta completa 5w2h. Segundo Behr *et al* (2008), o 5w2h é "uma maneira de estruturarmos o pensamento de uma forma bem organizada e materializada antes de implantarmos alguma solução no negócio". Essa ferramenta recebe essa denominação abreviada devido ao uso de sete palavras-chave em inglês, que são *What* (O quê?! Qual?), *Where* (Onde?), *Who* (Quem?), *Why* (Por quê?! Para quê?), *When* (Quando?), *How* (Como?) e *How Much* (Quanto?).

Para este trabalho, porém, foi descartado o uso do *How Much*, visto que os valores não foram informados nas pesquisas. Assim, essa parte de discussão de resultados se baseou na resposta para seis perguntas restantes propostas. Para o *What*, definiu-se como pergunta o assunto da pesquisa relacionado ao título do artigo; para o *Who*, quem a desenvolveu, no caso o(s) autor(es); *When*, quando foi realizada; *Where*, onde foi desenvolvida; *Why*, o motivo para seu desenvolvimento; e *How*, que mostra os métodos e materiais utilizados.

Após a sexta filtragem chegou-se à quantidade de 25 artigos – na base *Scielo*. Entretanto, devido ao foco deste projeto estar em compósitos à base de cimento Portland, foi feito o último filtro, que tratava exatamente dessa questão. Como resultado, 4 estudos foram selecionados, todos da base *Scielo*. Para facilitar a leitura da Tabela 8, os estudos filtrados foram previamente mencionados e enumerados. A Tabela 8 trouxe a enumeração como tópico utilizando o símbolo “#”, referindo-se ao número do artigo que foi discutido naquela linha, além de responder às perguntas da ferramenta 5w1h, conforme a relação descrita nos itens 1 até 4:

1. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *schizolobium amazonicum* "paricá" e *cecropia hololeuca* "embaúba" para produção de painéis cimento-madeira
2. Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos
3. Placas cimentícias e *pavers* com incorporação de rejeitos da coleta seletiva do município de Blumenau, SC
4. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal

#	What?	Who?	When?	Where?	Why?	How?
1	Produção de painéis cimento-madeira com madeiras Paricá e Embaúba	Iwakiri <i>et al</i>	2010	Curitiba	Inserção dos painéis cimento-madeira no Brasil	Madeira/cimento 1:2,75; água/cimento de 0,43% de cloreto de cálcio em relação ao peso do cimento.
2	Resistência a fungos e cupins xilófagos em painéis aglomerados produzidos com madeira e casca de arroz	Melo <i>et al</i>	2010	Campina Grande	Utilização de resíduos de forma a proporcionar um destino mais sustentável para esses materiais	Traço de 8% de adesivo e 1% de parafina com base no teor de sólidos. Adesivos: uréia-formaldeído (UF) e taninoformaldeído (TF)
3	Incorporação de rejeitos da coleta seletiva de Blumenau a placas cimentícias e <i>pavers</i>	Moura <i>et al</i>	2016	Blumenau	Utilização de rejeitos para diminuir o uso de recursos naturais e, também, reduzir gastos públicos com a disposição final desses materiais	Fator água/cimento de 0,5; Placa: relação cimento/agregado de 1:1; <i>Pavers</i> : relação cimento/agregado de 1:3
4	Avaliação do desempenho mecânico de compostos cimentícios leves com resíduos industriais e fibras de sisal	Arruda Filho <i>et al</i>	2011	Campina Grande	Reincorporação de resíduos gerados pelas indústrias	Placas de EVA: relação cimento/ agregado EVA de 1:6; água/cimento de 0,55

FONTE: Os autores (2018)  
Tabela 8 – 5w1h dos estudos selecionados

## 5. Conclusão

Para finalizar, é importante ressaltar a importância de uma revisão sistemática da literatura, visto que é por meio dela que as buscas por temas mais ou menos amplos podem ser simplificadas. Neste trabalho o foco principal foi a busca por alternativas de materiais que pudessem ser associados ao cimento Portland para a montagem de painéis de vedação para a construção civil.

Diante de um mundo mais globalizado e atualmente mais consciente, o desenvolvimento sustentável ganhou espaço e força, o que faz com que mais pesquisadores se motivem a procurar

soluções para diminuir o uso de recursos naturais e, também, a emissão ou descarte de materiais poluentes. Assim, uma das soluções interessantes de se pensar seria a utilização de rejeitos e resíduos como matéria prima para outros produtos, neste caso, focando a produção de elementos de vedação para a construção civil.

Porém, para tal ideia se tornar mais aplicada e com melhores resultados, fazem-se necessárias mais pesquisas. Essa necessidade é observada nesta revisão sistemática, visto que inicialmente foram considerados 491 artigos chegando ao final da análise com apenas 4 que se encaixavam no tema pesquisado. Por meio dessa redução apresentada, é possível para perceber o pouco espaço que essa questão ainda tem no Brasil. Mas, considerando que a solução é viável e eficaz, ao que tudo indica, as pesquisas ainda avançarão muito nos próximos anos.

## Referências

- ARRUDA FILHO, N. T.; DANTAS, C. P.; LEAL, A. F.; BARBOSA, N. P.; SILVA, C. G.; ALEXANDRE, M. V.** *Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n. 8, p.894-902, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800012>
- BEHR, A et al** *Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca*. Ci. Inf., Brasília, v. 37, n. 2, p 32-42, ago 2008.
- BORGO, S.C.; MYMRINE, V.** *Galvanic processes wastes recycling for producing of ceramic materials*. Resources, conservation & recycling, v. 38, p. 137-145, 2007.
- CAMPOS, F. H. A.** *Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto*. 2012. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- CBIC**, Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. Construção Civil: análises e perspectivas. 2010. Disponível em: < <http://www.cbcs.org.br/> > Acesso em setembro de 2018.
- CHEAH, C.; RAMLI, M.** *The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview*. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, n. 7, p. 669-685, 2011.
- IWAKIRI, S.; et al** *Avaliação do potencial de utilização da madeira de schizolobium amazonicum "paricá" e cecropia hololeuca "embaúba" para produção de painéis cimento-madeira*. Cerne, v. 18, n. 2, p. 303-308, abr./jun. 2012. ISSN 0104-7760. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000200015>.
- JALALI, S.; TORRAL, F. P.** *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. 2ª ed. Universidade do Minho: Tecminho, 2010. 400 p.
- MEIER, G.M., J.E. STIGLITZ** (eds.). *Frontiers of Development Economics: The Future Perspective*. 2001. (Oxford: Oxford University Press).
- MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GARLET, A.; PAES, J. B.; STANGERLIN, D. M.** *Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos*. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501 - 511, 2010. ISSN 0103-9954. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982064>.
- MEYER, S.A.S.** *Aproveitamento de água residuária tratada e lodo físico-químico provenientes da produção de painéis de MDF*. 156f. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- MOHER, D, LIBERATI A, Tetzlaff J, ALTMAN DG.** *PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement*. Ann Intern Med.; v. 151, n. 4, 2009.
- MOURA, J. M. B. M. de; REIS, R.; MAY, S.; PINHEIRO, I. G.** *Placas cimentícias e pavers com incorporação de rejeitos da coleta seletiva do município de Blumenau, SC*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 345-359, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100225>.
- PAKI TURGUT, P.; ALGIN, H. M.** *Limestone dust and wood sawdust as brick material* Building and Environment, v. 42, n. 9, p. 3399-3403, 2007.

**SCHNEIDER, D.M.; PHILIPPI, A.JR.** *Public management of construction and demolition waste in the city of São Paulo*. Ambiente construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, 2004.

**SIDDIQUE, R.** *Utilization of wood ash in concrete manufacturing*. Resources, Conservation and Recycling, v. 67, p. 27-33, 2012.

**SOLYON, G.J.P.** *Minimização e Reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos*. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

**UDOEYO, F.; INYANG, H. YOUNG, D.; OPARADU, E.** *Potential of Wood Waste Ash as an Additive in Concrete*. J. Mater. Civ. Eng., v. 18, n. 4, p. 605–611, 2006.

**WCED. World Commission on Environment and Development.** *Our common future*. Oxford University Press, 1987.

## b) Processos Construtivos para Habitação Popular: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Janilce dos Santos Negrão Messias (UFPR)janilce@janilce.com  
Felipe Alcantera Dubeski (UFPR) felipedubeski@gmail.com  
Eduarda Lauck Machado (UFPR) eduarda.lauck@gmail.com  
Adriana de Paula Lacerda Santos (UFPR) adrianapls1@gmail.com  
Marcell Mariano Corrêa Maceno (UFPR)marcell.maceno@gmail.com

### Resumo:

Esta revisão sistemática da literatura teve o objetivo de levantar novos métodos construtivos propostos, e as vantagens e desvantagens que estes apresentam em relação aos métodos convencionais de construção no contexto de aplicação em habitação popular. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases de dados disponíveis online para a identificação de literaturas que se apresentassem relevantes ao tema abordado, com o auxílio da ferramenta 5W2H foram classificados os artigos e estudados mais a fundo, para a identificação de sua relevância e classificação quanto ao método, se novo ou já existente. Após a análise identificou-se um grande número de publicações existentes retratando estudos comparativos entre a alvenaria comum e alguns métodos alternativos já existentes que apresentam vantagens ao método tradicional, a introdução desses métodos diferenciados para a construção de habitações populares é impedida tanto por barreiras culturais, da tradição da alvenaria, quanto falta de incentivo governamental para introdução dos novos métodos; existem também alguns métodos regionais como o tijolo de terrocimento ou construção com bambu que se apresentam viáveis economicamente e facilmente aprimoráveis, porém não são tão valorizados.

**Palavras-chave:** construção popular; habitação popular; processos construtivos; revisão sistemática.

## **Building Construction Methods for Low-Income Housing: A Literature Systematic Review**

### Abstract

This literature systematic review had the objective of raising new constructive methods proposed, and the advantages and disadvantages that these present in relation to the conventional methods of construction in the context of application in popular housing. A bibliographic search was carried out in databases available online for the identification of literatures that were relevant to the topic, with the help of the 5W2H tool, the articles were classified and further studied, to identify their relevance and classification for the method, whether new or existing. After the analysis, a large number of existing publications have been identified, depicting comparative studies between common masonry and some existing alternative methods that have advantages to the traditional method, the introduction of these differentiated methods for the construction of popular housing is prevented both by cultural barriers, masonry tradition, and lack of government incentive to introduce new methods; there are also some regional methods such as *tijolo de terrocimento* or *bamboo* construction that are economically feasible and easily improved, but are not so valued.

**Keywords:** *low-income building; low-income housing; construction processes; systematic research.*

## Introdução

De acordo com GIANETTI et al (2018) Os projetos de moradia social no Brasil são focados em providenciar abrigo para famílias de baixa renda e alcançar o objetivo final de desenvolvimento mais sustentável da nação.

Ainda segundo o autor, a demanda por residências cria e sustenta novas demandas no mercado para o setor da construção civil, especialmente para os chamados projetos de “habitação popular”.

Segundo MILES et al (2000), moradias de baixo custo podem ser consideradas acessíveis para pessoas com renda baixa ou moderada se as famílias puderem adquirir uma unidade habitacional (própria ou alugada) por um valor de até 30 por cento de sua renda familiar.

Ainda segundo os autores, uma casa de baixo custo é projetada e construída como qualquer outra casa no que diz respeito à fundação, estrutura e resistência. A redução no custo é obtida por meio da utilização efetiva de materiais e técnicas de construção localmente disponíveis, duráveis, econômicos, aceitos pelos usuários e que não exigem manutenção dispendiosa.

No Brasil, o método construtivo mais utilizado é a alvenaria comum ou estrutural, sendo subsequente o método em estrutura de madeira. Esses métodos já estão enraizados no Brasil, sendo considerados as únicas opções quando o assunto é a construção de residências ou edificações. Entretanto, quando se trata de outros países, os processos construtivos se apresentam muito mais evoluídos e, em muitos casos, barateados, se apresentando vantajosos e muitas vezes mais viáveis do que os métodos utilizados por nós brasileiros.

Quando o assunto é moradia popular focada no aspecto produção de residências, segundo BARROS NETO, FENSTERSEIFER E FORMOSO (2003), os principais elementos que definem o conteúdo de uma estratégia de produção são os critérios competitivos relacionados com a estratégia competitiva da empresa e as categorias de decisão de longo prazo que influenciam a tomada de decisão na função produção das empresas.

Ou seja, a decisão de produzir se baseia principalmente nos custos de produção e rentabilidade do mercado, sendo seguida pelo prazo de retorno financeiro do conjunto.

Ainda BARROS NETO, FENSTERSEIFER E FORMOSO (2003), o preço da obra assume papel importante quando se trata da tomada de decisão do cliente, também considerando a influência das possíveis formas de pagamento e parcelamento, essas até podendo ultrapassar a influência do custo total a ser considerado.

Sabe-se que há a necessidade de se utilizar, devido ao déficit habitacional, alternativas para habitação da população de baixa renda, tanto em termos de inovações tecnológicas, como em formas de acesso à moradia, buscando obter um leque maior de opções para uma população diversificada em aspectos sociais, econômicos e culturais (MORAES e SANTANA, 2003).

Especificamente, no segmento de habitação de interesse social, as empresas construtoras necessitam controlar a qualidade dos processos de maneira eficaz, para atuar em um contexto diferenciado de empreendimentos, com limitadas margens de lucro. Também,

neste segmento, a Caixa Econômica Federal (CEF), como agente de políticas habitacionais do Governo Federal, necessita de informações sobre a qualidade das habitações, de maneira a apoiar as ações de aprovação e controle dos empreendimentos. Com esse propósito, a Caixa realiza periodicamente vistorias à produção das unidades habitacionais visando verificar o avanço físico das construções, sua qualidade, bem como o desempenho das construções (BARTZ, 2007).

Quando se trata do mercado brasileiro da construção civil, existem opções de novos métodos construtivos para serem aplicados nas obras, entretanto, na maior parte dos casos, o construtor não apresenta o interesse pelo novo método, se acomodando no usual e ignorando o fato de que esse método de construção tradicional pode não ser a melhor opção para sua obra nas perspectivas de custo, tempo de execução, carga de estrutura ou etc.

Este artigo teve como objetivo identificar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, novas técnicas construtivas ou o aprimoramento das já existentes, tanto para residências populares quanto para conjuntos habitacionais.

### Métodos Construtivos para Habitação Popular

O desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos deve ser conduzido de modo a considerar os diversos contextos que o balizam: empresarial, tecnológico, social, legal, dentre outros (SABATINI, 1989).

O déficit habitacional brasileiro vem sendo estudado por muitos pesquisadores. A maioria desses estudos discute a questão sócio-política da habitação popular. O que se observa, entretanto, é que ao antigo problema da falta de moradia somou-se à má qualidade da construção civil brasileira (SALGADO, 1996). A questão habitacional, no Brasil continua sendo um problema enfrentado há décadas, agravada pelo êxodo rural, pelas grandes taxas de crescimento demográfico e por um gradativo aceleração do processo de urbanização, principalmente, das grandes metrópoles brasileiras. Na década de 80 houve um crescimento acentuado do déficit habitacional no Brasil (BNH, 1981).

Segundo SRIVASTAVA et al (2018), casa de baixo custo é um novo conceito que lida com orçamento efetivo e uso de técnicas que ajudam na redução do custo de construção pelo uso de materiais disponíveis localmente junto com habilidades e tecnologia melhoradas sem comprometer a força, desempenho e vida da estrutura.

A autoconstrução é um processo bastante demorado, uma vez que acontece a partir da utilização do tempo livre da família, a saber: os finais de semana e os períodos de férias. Assim, o ritmo da autoconstrução segue o ritmo do tempo livre do trabalhador, bem como a disponibilidade de dinheiro dos integrantes do grupo familiar. Normalmente, é feito um financiamento em um dos depósitos de material de construção existentes no próprio bairro. Os recursos utilizados na autoconstrução são resultantes dos extras do grupo familiar, como o terço de férias e o décimo terceiro salário (GOMES, SILVA e SILVA, 2003). Segundo Mello (2004), um problema a ser avaliado é a carência de avaliação de sistemas construtivos em potencial para habitações populares, tendo como ponto de vista a industrialização da construção e da gestão dos processos de produção de edificações.

Neste contexto, vê-se a possibilidade de avaliar sistemas construtivos para habitações de interesse social levando em conta a industrialização da construção e a gestão dos processos de produção através da utilização dos requisitos de desempenho das sistemáticas de avaliação

de Duarte (1982) e San Martin (1999). A primeira utiliza princípios pertencentes ao paradigma da construção em massa, já a segunda utiliza princípios relacionados com o paradigma da construção enxuta (MELLO, 2006).

Esse trabalho identifica e analisa os principais fatores que podem facilitar e os que podem dificultar a introdução de inovações tecnológicas na construção de habitações populares no Brasil, cujo objetivo principal tem sido o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade, somados a uma redução dos custos de produção (REZENDE, BARROS e ABIKO, 2002). Desenvolver um método de avaliação que auxilie a seleção tecnológica para a produção de habitações de interesse social tendo como foco a gestão de processos de produção (SAN MARTIN, 1999).

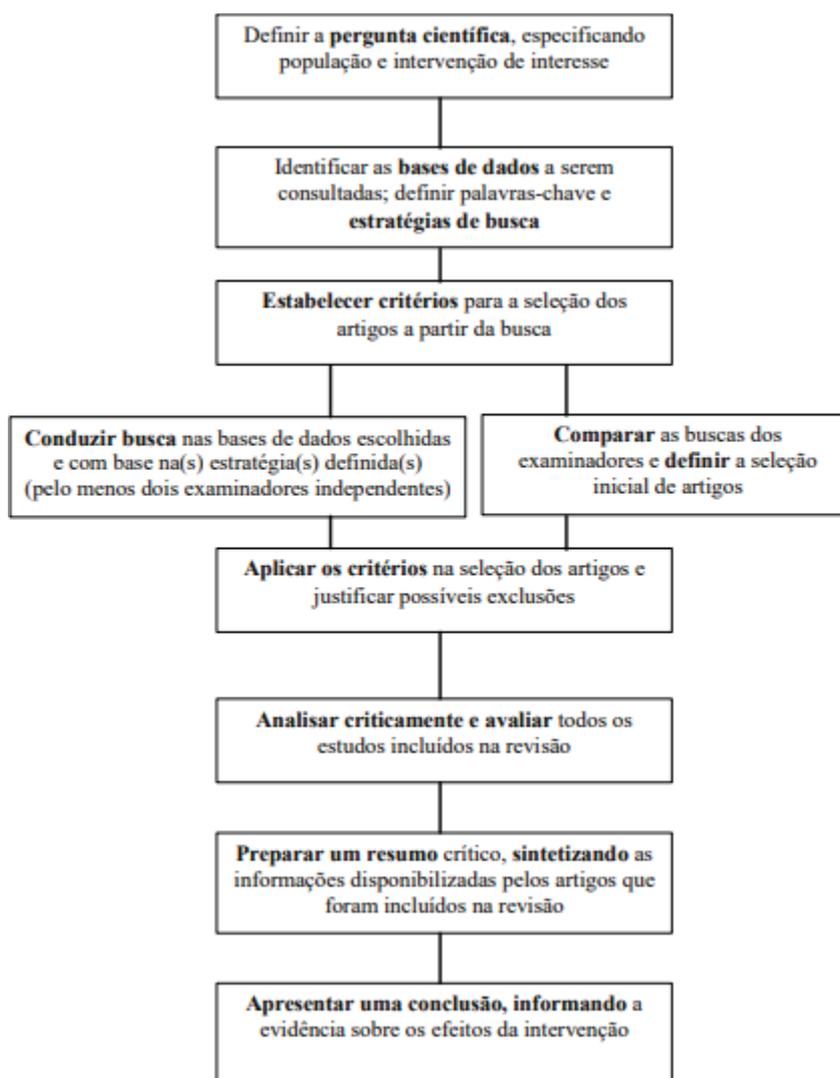
#### Métodos de Revisão Sistemática

No presente artigo, o método de pesquisa utilizado foi a revisão sistemática da literatura. Foram identificados e analisados diferentes artigos referentes aos processos construtivos, tipos de mão-de-obra, materiais utilizados e os resultados, tanto esperados quanto encontrados.

Uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como FONTE de dados a literatura sobre determinado tema. Esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. As revisões sistemáticas são particularmente úteis para integrar as informações de um conjunto de estudos realizados separadamente sobre determinada terapêutica/ intervenção, que podem apresentar resultados conflitantes e/ou coincidentes, bem como identificar temas que necessitam de evidência, auxiliando na orientação para investigações futuras (SAMPAIO e MANCINI, 2007).

As revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários, que têm nos estudos primários sua FONTE de dados. Entende-se por estudos primários os artigos científicos que relatam os resultados de pesquisa em primeira mão (GALVÃO e PEREIRA, 2014).

As etapas seguidas de acordo com o método utilizado estão ilustradas na FIGURA 1.



FONTE: SAMPAIO e MANCINI (2007).

FIGURA 1 - Etapas de uma análise sistemática

A primeira etapa da busca constituiu a elaboração da pergunta de pesquisa: Quais são os métodos construtivos disponíveis para habitações populares?

A pesquisa foi efetuada em três bases de dados, utilizando os termos em português.

A Tabela 1 mostra os termos de busca e as plataformas utilizadas na revisão da literatura.

Termos de busca	Termos em Inglês	NÚMERO DE RESULTADOS			
		ScienceDirect	Portal Periódicos	Google Scholar	EBSCO Discovery Service
"processos construtivos" mais "habitação de interesse social"	<i>"buildings construction processes" mais "social housing"</i>	33	23	22100	192

Tabela 1 - Termos de busca e plataformas.

"processos construtivos" mais "habitação popular"	<i>"buildings construction processes" mais "low-income housing "</i>	9	22	18500	130
"métodos construtivos" mais "habitação de interesse social"	<i>"buildings construction methods" mais "social housing"</i>	25	19	16500	118
"métodos construtivos" mais "habitação popular"	<i>"buildings construction methods" mais "low-income housing "</i>	9	15	16000	84
"sistemas construtivos" mais "habitação de interesse social"	<i>"building construction systems" mais "social housing"</i>	42	27	21800	225
"sistemas construtivos" mais "habitação popular"	<i>"building construction systems" mais "low-income housing "</i>	10	20	18200	166
				Total Geral	114269

FONTE: os autores (2018)

Tabela 1 - Termos de busca e plataformas. (CONTINUAÇÃO)

Considerando o número significativo de resultados na plataforma *Google Scholar*, foi realizada a leitura dos títulos em cada seção, procurando identificar os trabalhos mais relacionados ao assunto de interesse, até que se apresentassem somente artigos não condizentes com o tema, pois, foi assimilado que, a partir desse ponto, a plataforma apresenta artigos que condiziam somente com uma das palavras-chave inseridas, fugindo da temática de interesse e assim possibilitando a interrupção da busca na plataforma.

Nas demais plataformas o método a ser seguido foi a identificação dos artigos relacionado ao tema, baseando-se no título, sendo os mesmos salvos para posterior análise aprofundada.

Na primeira busca com uma breve análise dos artigos embasando-se na leitura dos resumos foram detectados 29 artigos relevantes ao tema da pesquisa e, retirando os artigos que se repetiam, esse número se reduziu a 23. Após uma análise dos resultados de cada um dos artigos selecionados foi identificado que apenas 15 artigos apresentavam relevância para a pesquisa.

Com o total de artigos selecionados, foi efetuada uma nova busca, nas mesmas plataformas já citadas e utilizando os mesmos critérios de busca, com as palavras-chave identificadas nos artigos, ocasionando uma adição de 10 novos artigos, totalizando 25.

Do total de 25 artigos selecionados para esta revisão, foi feita a leitura completa dos mesmos e, com base na quantidade de dados apresentados e como estavam apresentados, foram descartados os artigos que continham métodos idênticos, permanecendo os que se apresentavam mais completos em questão de metodologia e dados; também foram descartados artigos que não apresentassem como abordagem central algum método construtivo, dos que se restaram um total de 14 artigos.

Para a coleta de dados foi utilizada a análise do tipo 5W2H, que consiste em sete perguntas, elaboradas conforme o tema abordado e o objetivo do estudo, as quais são extraídas dos textos para se ter uma noção geral de como o artigo se apresenta quanto a seus dados.

A ferramenta 5W2H pode ser usada sozinha para colocar em prática uma decisão simples na empresa, como a aquisição de um novo equipamento ou a execução de uma

atividade pontual. Nessas situações mais simples, o preenchimento dos campos dos 5W2H em um formulário feito em editor de texto, planilha ou mesmo no corpo de uma mensagem eletrônica já é suficiente para a elaboração do plano de ação (SEBRAE, 2017).

Segundo a entidade, trata-se de um checklist de atividades específicas que devem ser desenvolvidas com o máximo de clareza e eficiência por todos os envolvidos em um projeto. Esse conjunto de caracteres corresponde, na verdade, às iniciais (em inglês) das sete diretrizes que, quando bem estabelecidas, eliminam quaisquer dúvidas que possam aparecer ao longo de um processo ou de uma atividade.

As perguntas elaboradas apresentam-se no Tabela 2.

<b>Letra inicial</b>	<b>Pergunta</b>
What	Qual foi o método de construção utilizado?
When	Quanto Tempo Durou Esse método?
Where	Onde foi aplicado o método construtivo?
Who	Quem desenvolveu esse método?
Why	Qual foi o propósito do desenvolvimento desse método?
How	Como foi aplicado esse método?
How Much	Quanto custou esse método?

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 2 1 - Estrutura do 5W2H.

Dessa forma, uma avaliação mais objetiva da literatura encontrada é efetuada para a atender aos objetivos do presente artigo, com enfoque: do método de construção utilizado; o prazo de execução; a localidade de execução; se for o caso de um novo método, o criador do mesmo; as técnicas de aplicação do método construtivo; e o custo.

## Resultados e Discussão

Os artigos selecionados apresentam-se no Tabela 3, juntamente com suas respectivas respostas as perguntas formuladas no plano 5W2H.

<b>AUTOR</b>	<b>QUAL FOI O MÉTODO DE CONSTRUÇÃO UTILIZADO</b>	<b>ONDE FOI APLICADO O MÉTODO CONSTRUTIVO</b>	<b>QUANTO TEMPO DUROU ESSE MÉTODO</b>	<b>QUAL FOI O PROPÓSITO DO DESENVOLVIMENTO DESSE MÉTODO</b>
BARBOSA et al (2015)	Método convencional por mutirão	Em uma favela no estado da Paraíba	não informado	Ajudar moradores de áreas de risco a ter uma melhor moradia
BARBOZA et al (2008)	Método convencional por mutirão	Maceió, AL	6 meses total sendo 2 meses de construção	Baratear custo de residências para pessoas de baixa renda e garantir conforto nas instalações

Tabela 3 - Resultados de análise.

AUTOR	QUAL FOI O MÉTODO DE CONSTRUÇÃO UTILIZADO	ONDE FOI APLICADO O MÉTODO CONSTRUTIVO	QUANTO TEMPO DUROU ESSE MÉTODO	QUAL FOI O PROPÓSITO DO DESENVOLVIMENTO DESSE MÉTODO
GODOY (2014)	Método construtivo de pré-moldados com trabalho manual	não definido	não especificado	Alternativa de construção de casas populares
NEVES (2014)	Comum para alvenaria estrutural	Cabo Verde	não especificado	Baratear o custo de obras de habitação popular para suprir o déficit habitacional na cidade
OLIVEIRA (2014)	Convencional versus light steel framing	não definido	1/3 do convencional	não definido
PINA <i>et al</i> (2014)	não foi utilizado	Campinas/SP	não especificado	não definido
SANTIAGO <i>et al</i> (2010)	<i>light steel framing</i>	Não definido	Menos da metade do tempo de construção em	não definido
SOUZA (2009)	Alvenaria estrutural, paredes de gesso e painéis monolíticos de poliestireno expandido	não definido	não especificado	não definido
VIDAL (2008)	Autoconstrução e mutirão	não definido	não especificado	não definido
JUNIOR <i>et al</i> (2015)	não foi utilizado	não definido	não especificado	não definido
AIGBAVBOA <i>et al</i> (2017)	Tilt-up	não definido	não especificado	melhorar o quesito sustentabilidade nas construções
Tabela 3 - Resultados de análise.(CONTINUAÇÃO)				
GIANETTI <i>et al</i> (2018)	não foi utilizado	não definido	não especificado	não definido
TAM (2011)	não foi utilizado	Índia	não especificado	diminuição do déficit habitacional
SRIVASTAVA <i>et al</i> (2018)	Método convencional	Índia	não especificado	não definido

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 3 - Resultados de análise. (CONTINUAÇÃO)

Com relação a pergunta formulada “quem desenvolveu este método” teve de ser descartada por motivo de nenhum dos métodos encontrados terem sido de autoria, ou se conhece o autor ou inventor do método, com exceção dos métodos de GODOY (2014) e NEVES (2014), esses sendo os autores de seus métodos apresentados nos artigos.

A pergunta que se tratava de como foi aplicado o método construtivo teve de ser descartada, pois não foi identificada resposta em nenhum dos artigos e, a pergunta quanto ao preço de construção do método foi removida, pois em nenhum dos artigos estudados apresentava dados concretos quanto ao preço da produção da construção; identificou-se um comparativo de preço entre dois métodos construtivos em questões fracionárias porém esse dado apresentou-se irrelevante.

Observou-se na literatura um grande número de publicações comparativas entre um método construtivo comparado a outro, como *Light Steel Framing* ou *Light Wood Framing* se mostravam mais vantajosos em relação à alvenaria já utilizada, tanto na questão de tempo de execução quanto na questão de custo, porém, são métodos construtivos impedidos de serem incrementados tanto por barreiras culturais devido a tradição da alvenaria, falta de incentivo governamental ou pelo fato de que necessitam de mão-de-obra especializada, tal qual se mostra como a principal barreira quando se trata de sua implementação na construção de casas populares.

Existem também alternativas como a de Barboza (2008), que apresenta um estudo de caso de uma construção executada com bambu sendo matéria prima essencial, a construção foi executada em mutirão e se mostrou eficiente na questão do conforto no interior da edificação, porém com bastantes pontos que necessitam de ajustes, os mesmos podem ser executados sem dificuldades.

Barbosa (2015) aborda uma construção com tijolos de solocimento na forma de mutirão, esse material que se mostra muito eficiente, porém necessita do uso de uma prensa específica para serem fabricados, o que dificulta na questão da implementação para residências de habitação popular.

Godoy (2014) trata de um projeto de habitação unifamiliar executada em pré-moldados leves, que se mostram eficientes, porém requer o processo industrial de fabricação de pré-moldados.

Neves (2014) desenvolveu um projeto para a construção de habitações utilizando a maior quantidade possível dos recursos disponíveis na região a ser construída, podendo ser adaptado para as regiões de interesse em construção.

Por outro lado, Pina (2014) aborda o desenvolvimento de um curso a distância para auxiliar na autoconstrução, com o objetivo de melhorar a qualidade no resultado final da obra.

Vidal (2008) analisa o método construtivo por mutirão e destaca pontos a serem melhorados para a evolução do método, melhorando a qualidade das moradias.

#### 4. Conclusão

Com base nos dados apresentados no presente artigo, é possível dizer que o déficit habitacional brasileiro está longe de ser suprido, porém, com mais investimento de novas tecnologias, ação governamental e incentivo de empresas do setor privado, não é impossível de ser contornado.

Os métodos construtivos utilizados já estão ultrapassados na questão de velocidade de execução e, em alguns casos, no custeamento total da obra, é interessante para o setor da

construção civil um maior investimento em métodos mais atuais para a evolução tecnológica do setor, o que ocasionaria simultaneamente um possível avanço positivo na questão do suprimento de moradias populares.

O método construtivo mais utilizado em casos de moradia popular é a autoconstrução, esse se mostrando eficiente na questão de barateamento de custo de mão-de-obra, porém demanda do tempo disponível dos validos familiares para a construção, o que logicamente toma do tempo de lazer e descanso dos familiares e também aumenta significativamente o prazo.

Outro método importante a ser levado em conta é a construção por mutirão, essa apresenta uma velocidade de execução consideravelmente boa, porém demanda grande quantidade de mão-de-obra, esta que muitas vezes não é especializada.

Construções com matéria-prima abundante na região devem ser levadas em consideração para baratear o custo de obra, porém exige uma maior análise da região a ser construída, na busca pela melhor opção de matéria-prima disponível, o que demanda estudo e tempo.

A sugestão para novas buscas é como incentivar as empresas do setor privado ou governamentais para a inserção dos métodos construtivos já existentes na construção de habitações populares, e os papéis a serem executados das mesmas na evolução da autoconstrução ou da construção por mutirão.

## Referências

**BANCO NACIONAL DE HABITAÇÃO.** Relatório de atividades:1980. Rio de Janeiro, 1981.

**BARBOSA, N; MATTONE, R; MESBAH, A. Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção.** Minas Gerais, 44º Congresso Brasileiro de Concreto. Belo-Horizonte, 2002.

**BARBOZA, A. S. R.; BARBIRATO, J. C. C.; SILVA, M. M. C. P.** Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 115-129, jan./mar. 2008.

**BARROS NETO, J. P.; FENSTERSEIFER, J. E.; FORMOSO, C. T.** Os critérios competitivos da produção: um estudo exploratório na construção de edificações. Revista de administração contemporânea, v. 7, n. 1, p. 67-85, 2003.

**BARTZ, C. F.** Proposta de Procedimentos Para Identificação de Melhorias no Processo de Controle da Qualidade de Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de Mestrado em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Carlos Torres Formoso, Ph.D. Porto Alegre – RS. 2007.

**DOMARASCKI C. S.; FAGIANI L. S.** Estudo Comparativo dos Sistemas Construtivos: Steel Frame, Concreto PVC e Sistema Convencional Monografia apresentada ao Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos para obtenção do grau de Engenheiro Civil. Orientadora: Profa. Paula Cacoza Amed Albuquerque. Barretos – SP. 2009.

**GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G.** Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, 23(1):183-184, jan-mar 2014.

**GIANNETTI, B. F.; DEMÉTRIO, J. C.C.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M.V.B.; LIU, G.** Towards more sustainable social housing projects: Recognizing the importance of using local resources. Building and Environment Vol. 127 p.187–203. 2018.

**JUNIOR, D. J. B.; GOMES, J. O.; LACERDA, J. F. S. B.** Sustainability Assessment in conventional and industrialized systems built in Brazil. *Procedia CIRP* 29 p.144 – 149. 2015.

**AIGBAVBOA, C. O.; OKE, A. E.; THOLE, Y. L.** Sustainability of Tilt-up Construction Method. *Procedia Manufacturing* 7 p.518 – 522. 2017.

**TAM, V. W. Y.** Cost Effectiveness of using Low Cost Housing Technologies in Construction. *Procedia Engineering* 14 p.156–160. 2011.

**SRIVASTAVA, M.; KUMAR, V.** The methods of using low cost housing techniques in India. *Journal of Building Engineering* 15 P. 102–108. 2018.

**Miles, M. E.; Berens, G.; Weiss, M. A.** Real estate development, principles and processes. Washington, D.C. : Urban Land Institute. 3rd ed. 2000.

**GODOY, R. L.** Uma proposta para habitações populares em elementos de pré-moldado leve de concreto. Monografia apresentada a Universidade Federal do Pampa para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Orientador: Msc. André Lübeck. Alegrete – RS. 2014.

**GOMES, R. C. C.; SILVA, A. B.; SILVA, V. P.** Política habitacional e urbanização no Brasil. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, v. VII, n. 146(083). 1 de agosto de 2003.

**MELLO, C. W.** Avaliação de sistemas construtivos para habitações de interesse social Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico. Orientador: Prof. Ronaldo Bastos Duarte. Porto Alegre – RS. Agosto de 2004.

**MELLO, C. W.; DUARTE, R. B.** Avaliação de sistemas construtivos para pabitações de interesse social XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis, 23 a 25 de Agosto, 2006.

**MORAES, O. B; SANTANA, M. J. A.** Tecnologia, habitação e desenvolvimento sustentável. III ENECS - Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. Bahia. 13 de Julho de 2003.

**NEVES, C. S. C.** Materiais e técnicas construtivas de baixo custo para a construção em cabo verde. Dissertação apresentada a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra para obtenção do título de Mestre em Arquitetura. Orientador: Prof. Dr. Antônio Manuel Portovedo Lousa. Coimbra. Junho de 2014.

**OLIVEIRA, J. P. B.** Otimização de processos construtivos através da Inserção de novas tecnologias na indústria da Construção civil: Vantagens da aplicação do Sistema light steel framing em residências. Monografia apresentada a Universidade Tecnológica Federal Do Paraná para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Msc. Normelio Vitor Fracaro. Pato Branco – PR. 2013.

**PINA, S. M.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; SILVA, D. R. C.; FRANCISCO, F. G.** Rotinas e orientações para autoconstrução: em busca da sustentabilidade social I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia Do Ambiente Construído. São Paulo, 18-21 julho 2004.

**REZENDE, M. A. P.; BARROS, M. M. S. B.; ABIKO, A. K.** Barreiras e facilitadores da inovação tecnológica na produção de habitações populares. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, 7 a 10 de maio de 2002.

**SABATINI, F. H.** Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia. Tese apresentada à Escola Politécnica da USP para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Dr. Vahan Agopyan. São Paulo – SP. 1989.

**SALGADO, M. S.** Metodologia para seleção de sistemas construtivos destinados à produção de habitações populares. Tese de doutorado, Engenharia de Produção, COOPE/UFRJ, 1996.

**SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C.** Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista brasileira de fisioterapia*. São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

**SAN MARTIN, A. P.** Método de avaliação de tecnologias de edificação para habitação de interesse social sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Carlos Torres Formoso, Ph.D. Porto Alegre – RS. Agosto de 1999.

**SANTIAGO, A. K.; RODRIGUES, M. N.; OLIVEIRA, M. S.** *Light steel framing* como alternativa para a construção de moradias populares. CONSTRUMETAL – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica. São Paulo, 31 de agosto a 02 de setembro 2010.

**SEBRAE NACIONAL** 5W2H: Tire suas dúvidas e coloque produtividade no seu dia a dia. 2017.

**SOUZA, A. C. A. G.** Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares. Dissertação apresentada a Universidade Católica de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Dr. Fernando Artur Nogueira Silva. Co-orientador: Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira. Recife – PE. 2009.

**VIDAL, F. E. C.** A Autoconstrução e o Mutirão assistidos como alternativas da produção de habitações de interesse social. Dissertação apresentada a Universidade de Brasília para obtenção do título de Mestre na área de Tecnologia no Programa de Pós-graduação. Orientador: Prof. Dr. Paulo Castilho Lima. Brasília – DF. 2008

### c) Revisão Sistemática da Literatura sobre Telhas Sustentáveis visando o Desenvolvimento do Produto

Janilce dos Santos Messias Negrão (UFPR) janilce@janilce.com  
 Rafaela Ribas da Rocha (UFPR) rafaelaribasdarocha@gmail.com  
 Adriana de Paula Lacerda Santos (UFPR) adrianapls1@gmail.com  
 Marcell Mariano Corrêa Maceno (UFPR) marcell.maceno@gmail.com  
 Thaísa Lana Pilz (UFPR) thaisa.pilz@gmail.com

#### Resumo:

O presente artigo fundamenta-se no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), com o estudo dos materiais, tanto dos resíduos sólidos como de possíveis compósitos, para fabricação de telhas. O objetivo do trabalho foi a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura, com intuito de encontrar uma solução de baixo custo, durável e ecologicamente interessante, para utilização em habitações populares. O método desenvolvido foi a busca de artigos já existentes, fazendo uma revisão sistemática aliada a uma análise bibliométrica. Foram acessadas quatro plataformas eletrônicas, coletando artigos em português e inglês, passando a compilar informações importantes a partir da ferramenta 5W2H. Também foi realizada uma pesquisa geral em preços e pesos de telhas no mercado. A compilação de dados forneceu material suficiente para elaboração de propostas, que se basearam principalmente na utilização das embalagens Tetra-Pak para o desenvolvimento das telhas. As garrafas PET, com também um potencial forte, mostraram-se leves e ecologicamente sustentáveis, porém o preço ainda se apresentou alto, comparado com o que há no mercado. As embalagens Tetra-Pak foram as telhas mais apropriadas para o foco do projeto pois possuem qualidade, baixo custo e são eficientes para usos em casas populares, tendo também benefícios ambientais.

**Palavras-chave:** Telhas ecológicas, Reciclagem, Tetra-Pak, PET, Compósitos.

## Systematic Review of Literature on Sustainable Roof-Tiles for Product Development

#### Abstract

The present article is based on the Product Development Process (PDP), on the study of materials, both solid waste and possible composites, for tile production. The objective of this work was to carry out a Systematic Review of Literature in order to find a low cost, durable and ecologically interesting solution for use in popular dwellings. The method developed was the search for existing articles, making a systematic review allied to a bibliometric analysis. Four electronic platforms were accessed, collecting articles in Portuguese and English, starting to compile important information from the 5W2H tool. Also a general survey was carried out on prices and weights of tiles in the market. The compilation of data provided sufficient material for proposal development, which was mainly based on the use of Tetra-Pak packaging for the development of tiles. PET bottles, also with a strong potential, were light and ecologically sustainable, but the price was still high compared to what is on the market. Tetra-Pak packages were the most appropriate tiles for the project focus because they have quality, low cost and efficiency for use in popular houses, and also have environmental benefits.

**Key-words:** Ecological Roof-Tiles, Recycling, Tetra-Pak, PET, Composites

#### 1. Introdução

A população mundial produz uma média de 1,2kg diários por pessoa de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). São 1,4 bilhão de toneladas anuais que, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) passarão a ser 2,2 bilhões de toneladas daqui a 10 anos. De acordo com estudo da ONU e do Banco Mundial, nos últimos 30 anos, o aumento do volume de lixo no mundo foi

três vezes maior que o da população. (ARAÚJO *et al*, 2014)

No Brasil, em 2016 foram descartadas 78,3 milhões de toneladas de lixo. Desses, 91% foi coletado, mas quase metade da porcentagem (cerca de 45%) foram para lixões ou aterros controlados. A Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Abrelpe constatou que foram geradas 29,7 milhões de toneladas de resíduo sólido com destinação inadequada, refletindo diretamente na segurança e saúde da população. O lixo, visto por este lado, aparenta ser um problema para a sociedade. No entanto, a tentativa da reutilização do material descartado, como uma forma de solucionar os grandes volumes de lixo, vem a ser bastante empregada (ABRELPE, 2016).

A reutilização, em um contexto mundial, é bastante difundida, principalmente pensando no desenvolvimento sustentável. Os recursos naturais que estão disponíveis são finitos e, principalmente na construção civil, possuem grande necessidade de uso, visto que é o setor em que são mais utilizados. Usar resíduos descartados é uma oportunidade de inovação para o desenvolvimento de produtos e ainda contribui para a preservação do meio ambiente. (MMA, 2012). Felizmente, já existem diversos materiais que são manufaturados a partir de resíduos, como os tijolos de entulho, blocos ISOPET (a partir do isopor e das garrafas PET), concretos com borracha de pneu ou tijolos e concretos com adição de PET ou fibras do PET. É essencial que o número de materiais reciclados seja cada vez maior, visando a sustentabilidade (SANTOS,2018).

Dentro da Universidade Federal do Paraná (UFPR), a busca por um desenvolvimento sustentável também é muito difundida. O Grupo de Estudos em Inovação Tecnológica (GESIT) - que foi fundado pelo curso de Engenharia de Produção- está, no momento, construindo um projeto de casa popular sustentável. Busca-se encontrar uma forma de reciclar e reutilizar resíduos sólidos para construção de casas para a população de baixa renda. A ideia é realizar a produção em mutirões, com a ajuda das famílias que se beneficiarão com o projeto, ajudando a população e o meio ambiente de forma concomitante. O foco do momento está na cobertura das casas, enfatizando a busca pelas possíveis opções de telhas.

As telhas atuais do mercado são, em sua maioria, fabricadas a partir de materiais novos e alguns, inclusive, tóxicos para a população. A variedade vem crescendo, sempre na busca por menores preços e variedade de cores e formas. Os tipos normalmente utilizados em habitações populares são as telhas cerâmicas e as de fibrocimento. As cerâmicas, sendo construídas a partir da secagem e cozimento de materiais argilosos, largamente utilizadas pelo Brasil, são excelentes no quesito conforto térmico, porém, exigem uma estrutura resistente que suporte o peso mais elevado da cobertura formada pela malha de telhas (CARDOSO, 2000). Por outro lado, as de fibrocimento, que eram muito utilizadas pela sua leveza, já estão sendo proibidas de serem fabricadas e aplicadas no país, em função do amianto na composição. Já existe a opção sem amianto, porém ainda assim são telhas com baixo isolamento térmico e esteticamente desvalorizadas (BERALDO, 2013).

Pensando em produzir habitações populares precisa-se identificar materiais de baixo custo a fim de contribuir para a viabilidade do empreendimento. No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística– IBGE, no ano de 2017, 50% das pessoas viviam com menos do que o salário mínimo (DOMINGUES, 2017). Portanto, o mercado relativo a produção de casas populares é amplo, pois metade da população brasileira encaixa-se nesse perfil.

Sendo assim, tendo como motivação aliar a fabricação de telhas, o reuso dos resíduos sólidos aplicados à habitação popular, surge o estudo para a criação deste artigo. O objetivo principal foi realizar uma Revisão Sistemática da Literatura a fim de identificar telhas produzidas, a partir dos resíduos sólidos que possam ser utilizadas em coberturas de habitação popular visando atender as expectativas do usuário final em relação ao conforto térmico e durabilidade.

## 2. Revisão da literatura

A sustentabilidade parte do princípio de três pilares principais: A sustentabilidade econômica, ambiental e social Segundo Ayres (1996), a sustentabilidade pode ser definida como uma forma de agir em relação à natureza, visto que somos responsáveis não só com o presente, mas com as gerações futuras. Tem-se como objetivo promover desenvolvimento sem que haja escassez de recursos para a sobrevivência daqui à alguns anos.

A proposta de sustentabilidade dentro das empresas traz o crescimento econômico e o sucesso financeiro aliados aos benefícios para a sociedade em geral É visto como uma forma de relacionar preservação ambiental aos impactos dentro dos negócios e lucros da empresa. (SAVITZ, 2016). As empresas trabalham com produtos, que passam por uma série de processos antes, durante e depois de chegarem ao consumidor. E é então que entra o Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) .

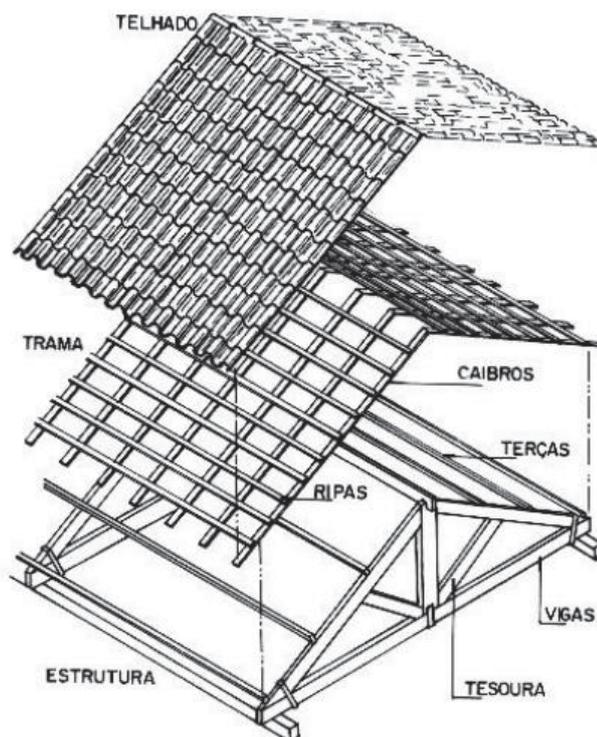
O PDP pode ser dividido em três fases básicas: O pré-desenvolvimento, o desenvolvimento e o pós-desenvolvimento. A primeira fase do projeto consiste na pesquisa do mercado, atrás das primeiras ideias para criação de um produto. É nesse momento em que são realizadas as avaliações econômicas e de possíveis riscos do projeto, criando os planos de negócio a serem desenvolvidos. A segunda fase, conhecida como o desenvolvimento, é dividida em 4 projetos diferentes. O primeiro é o Projeto Informacional, juntando as necessidades do cliente com a interpretação daquilo que se é apresentado. O segundo é o Projeto Conceitual, propondo um conceito ao produto, sintetizando as funções a serem desempenhadas por ele. As últimas duas, sendo o Projeto Preliminar e o Projeto Detalhado, respectivamente nessa ordem, que determinam os materiais, formas, componentes e dimensões do produto, afim da possibilidade de lançamento do insumo no mercado. O pós-desenvolvimento se resume no acompanhamento do produto já colocado no mercado até o seu descarte no meio ambiente. São tomadas medidas de correção de falhas e melhorias, além de metas para a sua retirada do mercado (ROSENFELD *et al*, 2006).

Os estágios iniciais do processo (pré-desenvolvimento) são de extrema importância, visto que produtos com uma boa especificação, bem discutidos e em consenso entre todos que tomam decisões dentro da empresa, tem três vezes mais chances de sucesso no mercado. Esse é um estágio em que os gastos são pequenos e os produtos ainda estão no papel, o que chega a ser visto como uma fase barata e crucial ao desenvolvimento do produto. É uma forma a ser bem difundido no mercado, economizando nas fases seguintes (BAKSTER,2003).

A devida importância as fases iniciais de projeto trariam um menor impacto à natureza, visto que o produto ainda não foi ao mercado e ainda há chances de ser menos poluente ao meio ambiente. Dentro da construção civil, o pensamento continua o mesmo. A busca por redução de consumo de materiais, energia e resíduos gerados é constante para preservação e melhoria do ambiente construído. Para isso, a mudança nos projetos convencionais deve ser trazida à construção civil, trazendo um menor impacto ambiental a partir da utilização de materiais renováveis, não tóxicos, propícios para a autoconstrução e potencialmente recicláveis. (SHELBY, 2016)

Segundo Cardoso (2000), telhado pode ser definido como: “Revestimento descontínuo constituído de materiais capazes de prover estanqueidade à água de chuva, repousados ou fixados sobre uma estruturação leve.” Esse é constituído de quatro partes, sendo elas: telhamento; trama; estrutura de apoio e sistema de captação de água das chuvas.O telhamento é formado pelas telhas, que por sua vez têm como função principal a vedação.A trama é o sistema de sustentação das telhas, sendo constituída das terças, caibros e ripas. O sistema é apoiado na estrutura de apoio que tem como função a distribuição das cargas ao restante da construção. O sistema de captação tem como função o processo de drenagem da chuva.

Em habitações convencionais, principalmente residências, a estrutura do telhado é produzida em madeira. Para a parte da trama, que irá sustentar as telhas, em casos de telhas de maiores dimensões, caibros e ripas não são necessários ao projeto. As terças são então posicionadas perpendicularmente ao sistema de apoio, que pode ser formado por oitões (ou paredes intermediárias), treliças, tesouras ou pontaltes. Na FIGURA 1 pode-se visualizar um esquema de um telhado e sua respectiva estrutura em madeira.



FONTE: Rodrigues, (2006)

FIGURA 6 - Esquema de trama de telhado

### 3. Método de pesquisa

O método utilizado para este artigo foi a Revisão Sistemática da Literatura, que, segundo Sampaio *et al* (2006), funciona como um método de avaliação crítica de todos os estudos científicos dentro da área de interesse, localizando e trabalhando em uma síntese de evidências. É um método abrangente e imparcial, em que se obtém uma visão geral e confiável do assunto.

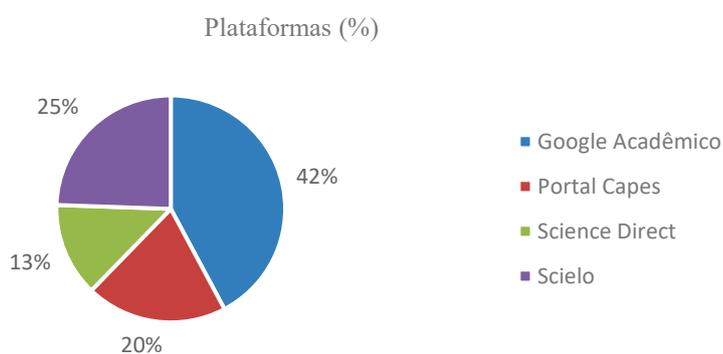
A Revisão Sistemática desse artigo foi realizada buscando-se artigos e estudos relativos as telhas de materiais advindos de resíduos sólidos. Para isso, foram pesquisadas referências, limitando-se ao que foi escrito em português e inglês em quatro plataformas eletrônicas: Google Acadêmico (Google Scholar); Scielo; Portal Capes e Science Direct. Segundo Dresch *et al* (2015) a primeira etapa da Revisão Sistemática é a definição das palavras-chave de busca, que são apresentadas na Tabela 1.

Palavras-chave	
Português	Inglês
Telhas	Roof-tile
Telhas ecológicas	Ecological Roof-Tiles
Reciclagem AND telhas	Recycle AND tiles
Compósitos	Composites
Resíduos para telhas	Waste for roof-tiles
PET	Composite roof-tile
Telhas de PET	Tiles AND PET
Tetra-Pak	

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 5 - Palavras-Chave

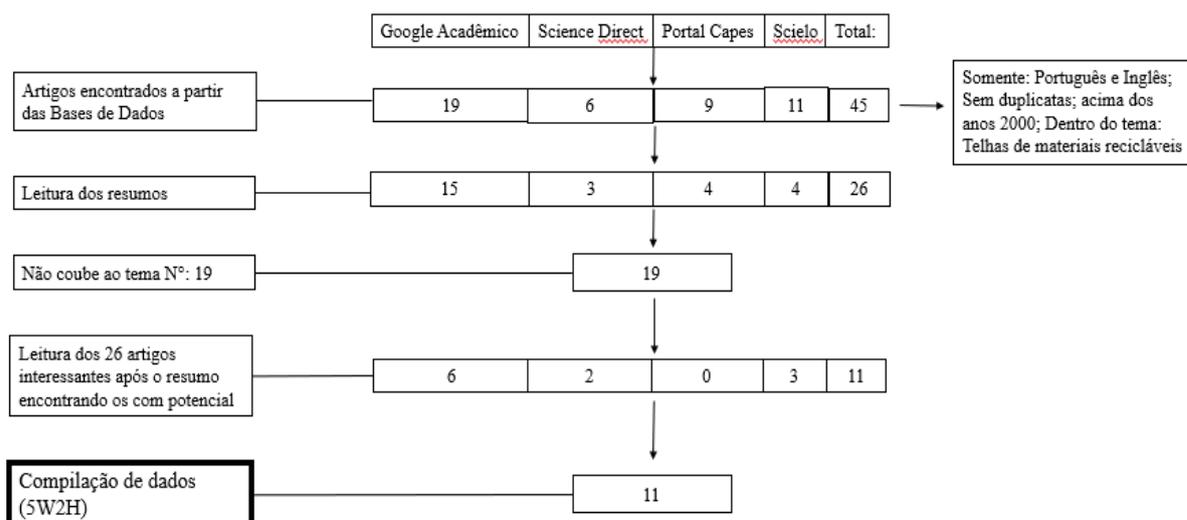
A partir das palavras-chave foi passado para a segunda fase da RSL segundo Dresch *et al* (2015), em que ocorreu a coleta de artigos. Esses, foram totalizados em 45, dispostos entre as bases de dados ilustrados na FIGURA 2. Teve-se como filtro a busca por artigos mais recentes, visando a ênfase nas pesquisas mais atualizadas, todos acima do ano 2000. Foi dada maior atenção aos artigos entre 2008 e 2018, mas ainda foram encontrados alguns um pouco anteriores a esse intervalo, também relevantes a pesquisa. Também, foram selecionados estudos sem considerar artigos duplicados (repetidos) e trazendo somente o que se referia ao tema abordado.



FONTE: Os autores (2018)

FIGURA 7 - Porcentagem de artigos nas plataformas

A primeira filtragem já serviu como uma forma de extração de artigos mais relevantes dentre o que havia nas plataformas, visto que existem várias vertentes ao assunto telhas e reciclagem em que são mencionadas as palavras-chave escolhidas. Em seguida, foram lidos os resumos desses artigos, retirando o que ainda não se enquadrava na pesquisa, restando apenas 26. Para dar continuidade ao trabalho, foram eliminados também todos que não cabiam ao estudo por não trazerem informações suficientes para avaliar o produto corretamente. Ao final foram analisados 11 artigos. A FIGURA 3 representa um esquema básico de como foi realizada a escolha dos artigos.



FONTE: Os autores (2018)  
FIGURA 3- Esquema da seleção dos artigos

A ferramenta aplicada ao método para a então compilação de dados é conhecida como 5W2H, que serve principalmente para extração das informações de maior importância dentro dos artigos, auxiliando na organização de dados relevantes (LEITNER, 2017). Esta ferramenta se baseia em sete perguntas básicas do inglês, que foram trazidas ao método conforme a Tabela 2. Foram realizadas 7 perguntas, sendo todas respondidas com informações extraídas diretamente dos artigos.

5W2H	Tradução	Perguntas	Respostas
WHAT	O quê?	Qual foi o objetivo do estudo?	Objetivo
WHERE	Onde?	Onde foi feita a pesquisa?	Local de publicação
WHEN	Quando?	Ano da pesquisa?	Ano da publicação
WHO	Quem?	Quem desenvolveu o estudo?	Autores
WHY	Por quê?	Por que o estudo foi realizado?	Motivo
HOW	Como?	Como foi feito o estudo/experimento?	Método
HOW MUCH	Quanto custa?	Qual o custo para a construção dessa telha?	Custo da telha

FONTE: os autores (2018)

Tabela 6 - 5W2H

A partir dos 11 artigos escolhidos, ainda foi realizada uma análise bibliométrica comparando resultados dos anos e locais de publicações, facilitando o processo de discussão dos resultados. Assim, desenvolvido o método, o Processo de Desenvolvimento do Produto de uma possível cobertura poderá ser realizado de forma mais eficaz e certa da conquista de bons resultados.

Para complementar a análise e torná-la de acordo aos dados atuais do mercado, foi realizada uma busca dentro dos principais sites de vendas de telhas, buscando preços atualizados do que já existe. Foram passados dados de preço/m<sup>2</sup> e massa/m<sup>2</sup> colocados em tabela comparando telhas convencionais (cerâmica; fibrocimento) com as de Tetra-Pak, fibras vegetais e as de

garrafas PET. A pesquisa foi realizada nos sites das lojas Leroy Merlin, Marchio, Telhas e CIA e Ecopreserve, limitando-se a uma telha dentre cada tipo, escolhendo as de menor preço/m<sup>2</sup>.

#### 4. Resultados

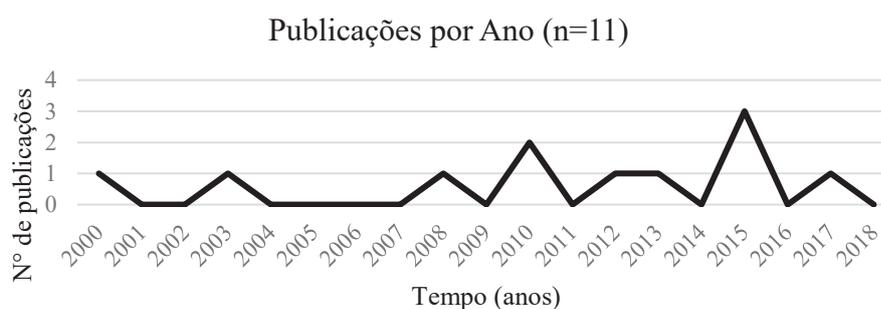
Tendo como material a análise bibliométrica dos respectivos artigos escolhidos, foi possível categorizá-los pelos seus locais de origem. Pôde-se observar que os estudos foram em sua maioria brasileiros, sendo divididos conforme os estados do Brasil, dados pela FIGURA 4. É vista uma maior quantidade de artigos no estado de São Paulo.



FONTE- Os autores (2018)

FIGURA 4- Publicações de artigos por estados

As publicações também foram analisadas conforme a quantidade de artigos publicados por ano, representados pela FIGURA 5. Os anos de 2015 e 2010 foram os com maior número de resultados, existindo um período sem artigos entre os anos de 2004 a 2007.



FONTE: Os autores (2018)

FIGURA 5- Publicações de artigos por ano

Com relação à análise bibliográfica, fundamentada na tabela do 5W2H (Tabela 3), foi possível uma discussão de dados ainda mais abrangente. Na coluna de custos da tabela, a sigla N/I significa que os valores não foram informados. O estudo pode ser dividido em 3 grandes blocos: O primeiro, composto pelos primeiros 3 artigos da tabela, que trabalharam com o foco nos materiais plásticos, sendo Teske *et al* (2015), e Silva *et al* (2010) sobre telhas em garrafas PET. O segundo bloco é composto pelos próximos 3 artigos na ordem da tabela, que focalizam na utilização das embalagens de Tetra-Pak (longa vida) como matéria prima. O terceiro, composto pelos 5 últimos artigos da ordem, trata de matérias-primas mais diferenciadas, tendo desde o

uso do bambu, como o uso de resíduos da própria construção civil como a base para desenvolvimento das telhas.

Para os artigos que focalizaram no plástico, pode-se destacar a similaridade nas motivações dos autores Seghiri *et al* (2017), Teske *et al* (2015), e Silva *et al* (2010), em que todos buscam uma redução/reutilização do lixo. Em contrapartida, é importante analisar os preços dos dois últimos, que são ainda maiores ao adicionar-se o gesso na composição da telha.

A reutilização das embalagens Tetra-Pak foi o que motivou Araújo *et al* (2008), Silva *et al* (2015) e Cerqueira (2003). Araújo *et al* (2008), realizou uma comparação entre telhas convencionais e as de material ecológico, enquanto os outros dois avaliavam somente as telhas de embalagens longa vida com relação aos índices que as telhas devem suportar. Infelizmente não foi possível a comparação de preços entre os artigos.

Beraldo *et al* (2013), Darsana *et al* (2015) e Savastano *et al* (2000) utilizaram como matéria-prima as fibras vegetais, podendo-se destacar que os dois primeiros estavam na busca de redução de custos e não enfatizando uma produção mais sustentável. Savastano *et al* (2000) é o único dentre os três a pensar na redução dos resíduos, mas somente na produção agrícola. Dentre esses três somente Darsana *et al* (2015) possui informações sobre preço. Yoshimura *et al* (2012) e Mendonça *et al* (2010) buscam a sustentabilidade, de uma forma mais indireta em seus trabalhos, em que o primeiro artigo busca a reutilização/reciclagem do papel e o segundo a manutenção do ciclo ambiental pelo reuso dos resíduos da construção e demolição. Nenhum fornece preços, mas ambos objetivam a avaliação das telhas de uma forma geral

Pode-se também destacar, dentre todos os artigos, um passo a passo semelhante, visto que em sua maioria é avaliada a capacidade da telha para diversos ensaios, principalmente a resistência mecânica (flexão), absorção de água, resistência às temperaturas e medições de densidade e impermeabilidade.

Nº	Referência	Local	Objetivo	Motivação	Passo a passo	Custo final
1	Seghiri <i>et al</i> , 2017	ARG-Ouargla	Criação de um compósito a partir do plástico reciclado para fabricar telhas	RE/REA	A	N/I
2	Teske <i>et al</i> , 2015	BRA-Curitiba-PR	Analisar a viabilidade técnica de aproveitamento de resíduos de gesso e PET em telhas.	REA	D	R\$720,00/m <sup>2</sup>
3	Silva <i>et al</i> , 2010	BRA-Campinas-SP	Mostrar vantagens econômicas e ecológicas de telhas de PET	RE	B	R\$77,40/m <sup>2</sup>
4	Araújo <i>et al</i> , 2008	BRA-Campina grande-PB	Comparar as telhas de material ecológico (as com embalagens de longa vida) com as telhas convencionais	RE	A	N/I
5	Silva <i>et al</i> , 2015	BRA-Lavras, MG	Avaliar o uso de telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak no conforto térmico.	REA	C	N/I
6	Cerqueira, 2003	BRA-São Carlos	Avaliar as telhas de Tetra-Pak	REA	A	N/I

Tabela 7 - Resultado 5W2H

7	Beraldo, 2013	BRA- Campinas-SP	Analisar telhas onduladas feitas à base de partículas de bambu, cimento e areia.	DI/ DU	A	N/I
8	Darsana <i>et al</i> , 2015	Índia- Chennai	Produzir telhas rentáveis usando fibra de coco.	DI	A	Rs 38,74
9	Yoshimura <i>et al</i> , 2012	BRA- São Paulo-SP	Melhoria no desempenho ambiental das telhas a partir de resíduo de pós-consumo de papel	RE/REA	D	N/I
10	Savastano <i>et al</i> , 2000	BRA- Campina Grande-SP	Seleção de resíduos e fibras vegetais para produção de telhas	REA	A	N/I
11	Mendonça <i>et al</i> , 2010	BRA- Mato Grosso do Sul- MS	Avaliar o desempenho térmico de telhas de resíduos de construção e demolição (RCD),	EQ	C	N/I

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 7 - Resultado 5W2H. (CONTINUAÇÃO)

Legenda da tabela:

Motivação	RE- reduzir resíduos sólidos; REA- Reaproveitar/ Reciclar resíduos sólidos; DI- diminuir custos; EQ- Equilíbrio entre a modificação ambiental, imposta ao crescimento urbano, e a manutenção dos recursos mais escassos; DU- reduzir problemas com a durabilidade do uso de fibras em telhas.
Passo a Passo	A- Testes físicos (densidade, resistência à flexão/tração, impermeabilidade, absorção de água); B- Comparação entre modelos de telhas; C- Ensaio de temperaturas e umidade; D- Medição de dimensões, massa, FONTE de matéria prima, produção, instalação no telhado, manutenção e durabilidade, o descarte após sua vida útil, o albedo, o isolamento e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da telha.

Os resultados da pesquisa no mercado brasileiro é representada a seguir, pela Tabela 4. Deve-se destacar a inexistência de todos os tipos de telhas que foram trabalhadas nos artigos, visto que ainda não foram produzidas para comércio no Brasil. Na tabela, N/I significa que os valores não foram informados.

Nome	Loja	Relação kg/m <sup>2</sup>	Telhas/m <sup>2</sup>	Preço/m <sup>2</sup>
Telha de Fibrocimento Econoflex	Leroy Merlin	10,656	0,41	R\$ 18,84
Telha ecológica Tetrapak	Ecopreserve	5,981	0,6	R\$ 21,90
Telha Romana	Leroy Merlin	25,577	17	R\$ 23,80
Telha Portuguesa	Leroy Merlin	25,77	17	R\$ 23,63
Telha Americana	Marchio	27,84	12	R\$ 21,60
Telha Portuguesa Transparente PET Injetada - Primalux	Telhas e Cia	N/I	16	R\$ 176,00
Telha Pet Eurotop Classic Translúcida	Leroy Merlin	2,193	7	R\$ 130,52

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 8 - Dados de mercado no Brasil

## 5. Discussão dos resultados

Os artigos referentes as telhas de PET, aliados ao pesquisado no mercado, mostraram que são uma forma de cobertura cara, sendo inviável para utilização dentro do objetivo traçado, por mais que sejam telhas leves. Segundo Silva *et al* (2010), o fato de terem uma massa menor por m<sup>2</sup> leva a uma necessidade de estrutura de suporte do telhado mais leve e que não precise suportar carregamentos elevados, o que acarretaria em uma diminuição do preço final, mas seria necessária mais uma análise buscando mais resultados.

Segundo Araújo *et al* (2008), essas telhas apresentam melhores resultados que telhas de fibrocimento, mecanicamente e na caracterização físico-química, também apresentando ótima durabilidade. Ainda existe a grande contribuição ambiental na reciclagem das embalagens longa vida, reduzindo as quantidades de resíduos sólidos urbanos.

Fibras vegetais dentre os artigos estudados (Beraldo *et al* (2013), Darsana *et al* (2015) e Savastano *et al* (2000)), sendo estas o bambu, as fibras de coco e das fibras advindas dos resíduos das agroindústrias, respectivamente, apresentaram resultados positivos para quesitos de norma (absorção, permeabilidade, resistência), mas sem preços a avaliação deste tipo de telha deverá ser mais aprofundada para a redução de custos na construção. Ainda, Savastano *et al* (2000), ainda afirma que deverão ser continuados os estudos com as fibras apresentadas para as características mecânicas, que ainda não apresentam resultados satisfatórios.

Com relação as telhas de papel reciclado, os resultados mostram-se satisfatórios para redução de impactos ambientais, porém não há informações suficientes para classificar as propriedades da telha (YOSHIMURA *et al*, 2013). As telhas de resíduos da construção e demolição (MENDONÇA *et al*, 2010) também não foram especificadas com relação a propriedades fundamentais, somente a parte de isolamento térmico, o que também torna a telha descartável como melhor opção dentro das condições trabalhadas.

## 6. Conclusão

Por meio dos resultados obtidos, focando no objetivo da pesquisa de encontrar telhas para habitação popular, foram analisados principalmente três fatores: preço (tanto o constatado nos artigos como na pesquisa ao mercado atual), resposta a durabilidade da telha e relação da densidade ligada ao peso/m<sup>2</sup>.

As telhas em Tetra-Pak foram consideradas as melhores, sendo relativamente baratas dentro dos preços do mercado, além de possuírem baixa densidade, o que também acarreta em menor necessidade de estrutura reforçada para colocação das telhas.

## Referências

**ABRELPE.** *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016*. Brasília: Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. > Acesso em: 01 agosto 2018.

**ARAÚJO D.C., MORAIS C.R.S., ALTIDES M.E.D.** *Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares*. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.3.2, 50-56 ISSN 1809-8797, 2008

**ARAÚJO J.; TEIXEIRA J. C.; PAGANINE J. E GUEDES S.;** *Rumo a 4 bilhões de toneladas por ano*. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/residuos-solidos/materia.html?materia=rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano.html> > Acesso em: 22 agosto 2018.

**AYRES, R.U.** *Statistical measures of sustainability*. Ecological Economics, v.16, n.3, p.239-255, 1996.

**BAKSTER, M.** *Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

**BERALDO A.L., CHEN F.K.C.H., AZZINI A.** *Telhas Onduladas de Bambu- cimento*. III ENECS – Encontro Nacional Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis, 2013.

**CARDOSO F. F.** *Coberturas em telhados*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Engenharia de Construção Civil PCC 436 – Tecnologia da Construção de Edifícios II, 2000.

**CERQUEIRA, M.H.**, *Placas e telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno / alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak*. 2003.

**DARSANA P., ABRAHAM R., JOSEPH A., JASHEELA A., BINURAJ P.R, SARMA J.** *Development of Coir-fibre Cement Composite Roofing Tiles*. International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology. Procedia Technology 24, 169-178, 2016.

**DRESCH, A; LACERDA, D.P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V.** *Design science research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Algre: Bookman, 2015.

**DOMINGUES C.** *IBGE: metade da população brasileira vive com menos de um salário mínimo*. Disponível em: <[https://odia.ig.com.br/\\_conteudo/economia/2017-11-29/ibge-metade-da-populacao-brasileira-vive-com-menos-de-um-salario-minimo.html](https://odia.ig.com.br/_conteudo/economia/2017-11-29/ibge-metade-da-populacao-brasileira-vive-com-menos-de-um-salario-minimo.html)> Acesso em: 30 agosto 2018

**LEITNER, D. S.** *Avaliação Pós-Ocupação em Edificações: Uma Revisão Sistemática de suas Características*

**MENDONÇA R.M.; BARCA O.G.; ANDREASI W.A.** *Análise do desempenho térmico de telhas produzidas de resíduo de construção e demolição*. ENTAC 2010- XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Contruído. Canela-RS, 2010.

**MMA.** *Construção Sustentável*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>> Acesso em: 06 agosto 2018.

**PUGH, S.** *Creating innovative eproducts using total design*. Addison-Wesley, 1996.

**RODRIGUES, E.** *Técnicas das Construções: cobertura*. Página 185. Rio de Janeiro UFRRJ, 2006.

**ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K.** *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006.

**SAMPAIO, R.P.; MANCINI, M.C.; ESTUDOS DE REVISÃO SISTEMÁTICA: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Departamentos de Fisioterapia e de Terapia Ocupacional, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG – Brasil, 2006.

**SANTOS, L. C.** *Materiais reciclados na Construção Civil: concreto com adição de pet ou pneus descartáveis*. Disponível em: <<http://domtotal.com/noticia/1256321/2018/05/materiais-reciclados-na-construcao-civil-concreto-com-adicao-de-pet-politereftalato-de-etileno-e-ou-pneus-descartaveis/>> Acesso em: 10 set 2018.

**SAVASTANO JUNIOR H. , PIMENTEL L. L.** *Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.103-110. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000.

**SAVITZ, A. W.** *The Triple Bottom Line: how today's best-run companies are achieving economic, social and environmental success – and how you can too*. Jossey-Bass, 2006.

**SEGHIRI M., BOUTOUTAOU D., KRIKER A., HACHANI M.I.** *The possibility of making a composit material from waste plastic*. International Conference on Technologies and materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES17, 21-24, April 2017, Beirut Lebanon. Energy Procedia 119, 163-169, 2017.

**SILVA K.C.P., CAMPOS A.T., YANAGI JUNIOR T., CECCHIN D., LOURENÇONI D., FERREIRA J.C.** *Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak-® em coberturas*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br> ISSN 1807-1929 v.19, n.1, p.58–63, 2015.

**SILVA L.J.D, FRANCISCON M.S.C, DA ROCHA R. C.** *Utilização de telhas de PET reciclado na construção civil*. Revista Ciências do Ambiente On-Line Junho. Volume 6, Número 1, 2010.

**TESKE S., GONÇALVES P.F.A., NAGALLI A.** *Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção*. Cerâmica 61, 190-198 <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581852>, 2015.

**YOSHIMURA K.S.O., YOSHIMURA H.N., WIEBECK H.** *Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado.* Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.7.2, 82 – 94 ISSN 1809-8797, 2012.

d) Blocos com utilização de resíduos para uso em habitação popular: Uma Revisão  
Sistemática da Literatura

Tháisa Lana Pilz (UFPR) thaisa.pilz@gmail.com  
Ana Paula Calliari (UFPR) anapcalliari@gmail.com  
Janilce dos Santos Messias Negrão (UFPR) janilce@janilce.com  
Eduarda Lauck Machado (UFPR) eduarda.lauck@gmail.com  
Adriana de Paula Lacerda Santos (UFPR) adrianapls1@gmail.com

Resumo:

A ação antrópica é responsável por diversas transformações no meio ambiente. O crescimento populacional acarretou, entre outras coisas, um aumento nas habitações em locais impróprios e a produção de resíduos urbanos. Para a construção de habitações populares é interessante pesquisar formas de redução de custo de execução. Nesse sentido, diversos estudos foram realizados para incorporar resíduos sólidos em materiais da construção civil. O objetivo desse artigo foi identificar por meio de uma revisão sistemática da literatura a utilização de resíduos em um material muito utilizado para na construção civil: os blocos. O bloco mais promissor encontrado, devido aos resultados das propriedades mecânicas foi o bloco com resíduos de construção e demolição. Além disso, a sua utilização provocaria uma logística reversa, com o destino final desse resíduo sendo a própria construção, o que ocasionaria em uma solução mais eficiente para a construção civil.

**Palavras-chave:** Revisão sistemática, Blocos, Resíduos, Habitação Popular.

**Blocks using waste materials for use in popular housing: systematic review**

Abstract

Anthropogenic action is responsible for several transformations in the environment. Population growth led, among other things, to an increase in housing in unsuitable places and the production of urban waste. For the construction of popular housing it is interesting to research ways of reducing the cost of execution. In this sense, several studies were carried out to incorporate solid waste into construction materials. The objective of this article is to identify through a systematic review of the literature the use of waste in a material very used in construction: the blocks. The most promising block found due to the mechanical properties results was the block with construction and demolition waste. Furthermore, it would provoke a reverse logistics, with the final destination of this waste being the construction itself, which would lead to a more efficient solution for civil construction.

**Key-words:** Systematic review, Blocks, Waste, Popular Housing.

Introdução

O ser humano é responsável por grandes transformações no meio ambiente. O crescimento populacional e os avanços e inovações tecnológicas acarretam um aumento significativo na produção de bens de consumo (SOARES, 2007). Assim, é inevitável a geração de uma grande quantidade de resíduos pela população.

Esses resíduos nem sempre tem um destino adequado e, por isso, as questões ambientais

relacionadas a vários tipos desses descartes aumentaram para um nível preocupante (MENG, 2018).

O termo “resíduos sólidos” se refere a materiais que podem ter valor econômico no sentido de possibilitarem e estimularem um reaproveitamento no próprio processo produtivo (DEMAJOROVIC, 1995). Observa-se, então, a necessidade de poupar e preservar o meio ambiente e os recursos naturais não renováveis, pois os resíduos crescem exponencialmente à população e ao consumo, o que não acontece com as reservas naturais (SOARES, 2007).

Na busca por soluções para minimizar as agressões ao meio ambiente, a indústria da construção civil aparece como uma opção, tendo em vista que possui grande potencial para absorver os resíduos sólidos (BENATTI, 2008). A necessidade da preservação de materiais, que estão sujeitos a um esgotamento, obriga os engenheiros a procurar insumos alternativos e a utilização de resíduos na construção civil é uma solução prática (RAUT, 2011).

De um lado, tem-se o crescimento populacional que agravou a produção de resíduos e de outro, o aumento da quantidade de habitação em locais impróprios. Segundo Bello (2018) 11,4 milhões de pessoas moram em favelas no Brasil. Assim, uma alternativa é a aplicação desses descartes em materiais da construção, com foco principal em habitações populares por seu custo ser, em geral, reduzido.

O desenvolvimento de moradias populares é uma opção necessária considerando o déficit habitacional e uma solução para a redução dos custos dos materiais é a incorporação de resíduos (MOSTAFA, 2016).

Vários estudos apresentam a utilização de resíduos na produção de materiais destinados à construção – obtendo características de engenharia apropriadas (compressão, resistência, absorção de água). Um exemplo é a aplicação de resíduo industrial na produção de blocos e tijolos cerâmicos e cimentícios, telhas, lajotas para piso e forro e de outros materiais, proposto por Denis Lucas e Cláudia Telles Benatti (2008). A construção civil é importante receptora de resíduos industriais, disponível localmente, através da investigação de suas propriedades (ROCHA, 2003), como mostra Shon *et al* (2009) com o uso potencial de cinzas de queima de leiteo fluidizado em circulação estocadas na fabricação de tijolos de terra comprimida.

Os resíduos são, portanto, uma boa alternativa para produção de materiais alternativos com baixo custo ao substituir em grande parte os agregados naturais empregados em concretos, argamassas, blocos, barreiras de contenção, bases para pavimentação (FIORITI, 2007). O desenvolvimento desses estudos pode ser, então, necessário para as moradias populares.

Tendo em vista a redução de custos na produção dos materiais de construção civil em um país de elevado déficit habitacional como o Brasil, o objetivo do artigo foi identificar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, a possibilidade da utilização de resíduos em blocos da construção civil.

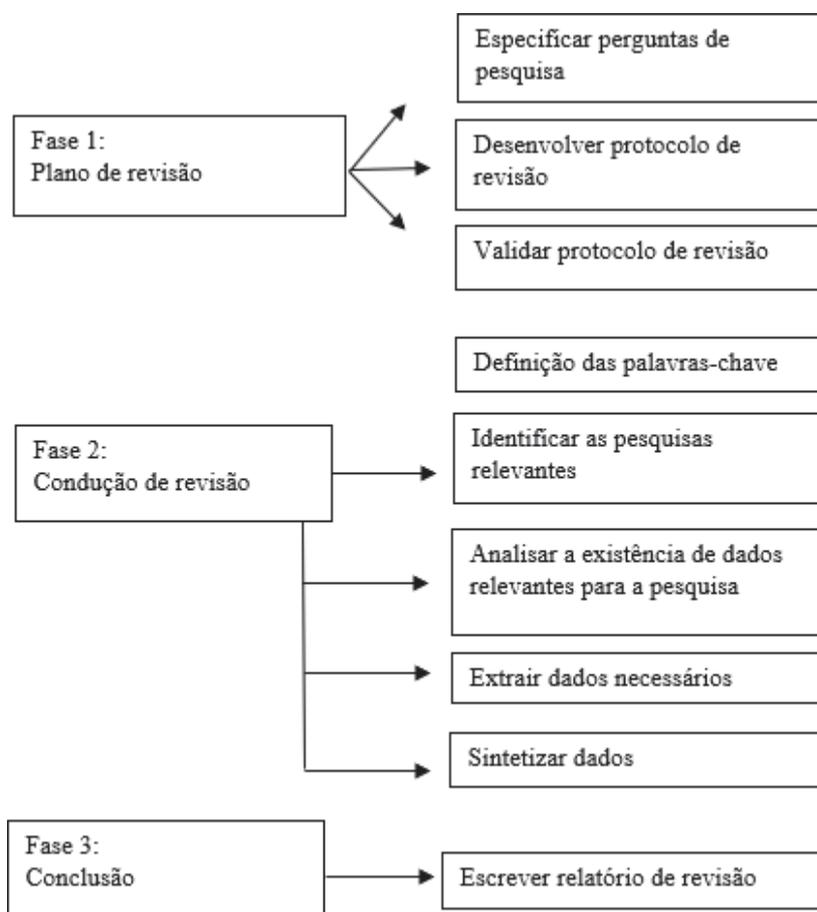
## Método de Pesquisa

Para atender ao objetivo proposto, este artigo adota como estratégia de pesquisa a revisão sistemática da literatura, que é realizada a partir de um levantamento de estudos correlatos sobre determinado tema, utilizando como FONTE de dados livros, artigos científicos, páginas da web, entre outros (SAMPAIO, 2017). Sendo assim, o presente artigo pode ser considerado um estudo secundário, que têm nos estudos primários suas FONTES de dados

(GALVÃO, 2014).

Segundo Kitchenham (2004), esse estudo pode ser definido como “um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma determinada pergunta de pesquisa ou área de tópico, ou fenômeno de interesse”.

De acordo com Brereton *et al* (2007), o objetivo de uma revisão sistemática da literatura é fornecer um resumo objetivo, relevante para satisfazer uma necessidade particular de informação. O autor mantém a mesma tese citada anteriormente que esse tipo de revisão é um estudo secundário que acumula evidências para fornecer novos conhecimentos ou uma tese. Foi feito um esquema, demonstrado na FIGURA 1, de como o método de pesquisa foi realizado.



FONTE: Adaptado de Brereton *et al* (2007)  
FIGURA 1 - Processo de revisão sistemática

A revisão sistemática da literatura foi realizada no primeiro semestre de 2018 a partir da base de dados Google Scholar, *Science Direct*, Periódico Capes.

A seleção de palavras-chave teve início no Google Scholar aplicando frases como “utilização de blocos com uso de resíduos na construção” “resíduos em blocos na construção civil” e ao encontrar artigos relacionados com o tema de pesquisa foram identificadas as palavras-chave neles utilizada para então utilizá-las nas outras bases de dados (*Science Direct* e *Capes*). As palavras-chave selecionadas estão organizadas na Tabela 1.

Termo em português	Termo em inglês
Blocos	Blocks
Blocos de construção	Construction block's
Compósito	Composite
Compressão	Compression
Resíduos	Waste materials
Desperdício	Waste
Engenharia	Engineering
Construção verde	Green construction
Habitação popular	Popular housing
Materiais de construção	Construction materials
Reciclável	Recycle

FONTE: os autores (2018)

Tabela 1 – Palavras-chave utilizadas na busca de artigos

A partir dos resultados encontrados por meio da combinação desses termos nas bases de dados, feita uma análise do título, os artigos que não estavam relacionados com o estudo ou eram repetidos foram eliminados.

Posteriormente foram lidos os resumos dos artigos restantes avaliando se tais estudos se adequaram ao tema de pesquisa. Como resultado desse procedimento foram identificados 7 artigos relevantes em que foi apresentado a utilização de resíduos em blocos da construção civil.

Para a análise dos dados da pesquisa foi utilizado o método 5W1H, uma ferramenta que permite uma síntese para cada um dos estudos (MARTINS, 2006). Para a obtenção dos dados da revisão sistemática da literatura, a ferramenta colaborou com a identificação e compreensão dos dados da pesquisa. Para cada um dos estudos pesquisados foram feitas as seguintes perguntas:

- WHO? Quem foi o responsável por realizar o estudo do uso de resíduos em blocos da construção civil?  
(quem)
- WHAT? qual o material que foi incorporado ao bloco?  
(o que)
- WHERE Onde foi realizado o estudo?  
(onde)
- WHY? Por que os autores decidiram realizar esse estudo?  
(por quê)
- HOW? Como foi efetuado a produção do bloco? Qual foi o traço utilizado do resíduo incorporado?  
(como)

#### Resultados

Foram encontrados sete artigos que abordavam o uso de resíduos a blocos de construção. A lista e resumo dos artigos podem ser vistos na Tabela 2. Nos tópicos a seguir foram

apresentadas as respostas das perguntas com um foco no *What* (o quê?), ou seja, no detalhamento dos resíduos que foram incorporados aos blocos de construção dos estudos pesquisados.

#### Uso da cinza do bagaço da cana com cimento em blocos de terra compactados

Neste artigo, os autores Lima, S. A *et al* (2011) apresentam a adição de cinzas bagaço da cana de açúcar em CEBs (blocos de terra compactados). O estudo foi realizado considerando o descarte dessas cinzas se tratar de um problema enfrentado pelos gerentes de fábricas e proveniente do resultado final dos processos industriais, sem possibilidade de redução. Assim, foram feitos testes com a adição desse material em CEBs, como meio de destino apropriado para esse resíduo. Após diversos experimentos as propriedades técnicas foram atendidas e o traço mais promissor encontrado foi com as séries produzidas com 12% de cimento Portland e 8% do bagaço da cana incorporados à terra, concluindo a viabilidade técnica deste material, que pode sim ser utilizado na fabricação de componentes de alvenaria não estrutural.

#### Uso de fibras de bananeira em blocos de terra compactados (CEBs)

Estudo realizado por Mostafa e Uddin (2016), nos Estados Unidos, uma vez que as fibras de bananeira estão amplamente disponíveis mundialmente devido aos resíduos agrícolas do cultivo de banana. Considerando também as propriedades físicas dessas fibras como baixa densidade, baixo peso, baixo custo, alta resistência à tração, repelentes à água e resistentes ao fogo foi realizado esse estudo para analisar o comportamento dessas fibras adicionadas em CEBs. O estudo mostrou que os blocos construídos pela adição de fibras de bananeira (B-CEB) ao longo da mistura tiveram melhor desempenho que o bloco sem fibras (CEB) tanto na resistência à compressão quanto à flexão. Os melhores resultados foram blocos com 60 e 70 mm de fibra de bananeira natural, que tiveram aumento significativo de resistência à compressão e à tensão comparados com CEBs comuns.

#### Uso de cinza de Combustível de Óleo de Palmeira (POFA) em blocos de alvenaria

Rahman *et al* (2013) testaram, na Malásia, o desempenho da cinza de óleo de palmeira, um material residual com grande quantidade nesse país, em blocos de alvenaria, que são constituídos basicamente por cimento. Os blocos, assim, podem eventualmente ser utilizados para a construção de projetos habitacionais devido a redução de custos. O resultado mais adequado foi 20% ou 40% de substituição de cimento por cinza de Combustível de Óleo de Palmeira.

#### Uso de resíduos de construção e demolição para construir tijolos

Tendo em mente que os resíduos de construção e demolição (RCD) correspondem a 50% do lixo urbano, que normalmente é descartado em locais inapropriados no Brasil, os autores Contreras *et al* (2016), fizeram um estudo utilizando esses recursos como agregados naturais para produção de tijolos. Confirmou-se, assim, a possibilidade de utilização de resíduos da construção civil (RCD) e com o uso de aglomerantes (cimento e cal) como matéria-prima na fabricação de tijolos para paredes de alvenaria, que além de possuírem baixo custo sanam o problema da destinação desses resíduos. A amostra com melhores propriedades mecânicas teve uma composição residual de 50% de cerâmica, 20% de concreto e 30% de argamassa.

#### Uso de casca de aveia e casca de cevada e farelo de cevada em blocos de argila

Devido às grandes quantidades de resíduos produzidas no processamento de grãos, Kizinievič *et al* (2017), na Lituânia, prepararam compostos para moldagem de tijolos de barro adicionando 5%, 10% e 20% de casca de aveia ou casca e farelo de cevada queimando a 900°

C e 1000° C para analisar a possibilidade de utilizar esses materiais na construção civil. A mistura ideal foi a de 5% de casca de aveia ou casca e farelo de cevada queimados a 1000° C, os testes com maiores teores da adição reduziram a resistência à compressão do tijolo de barro. Assim, esses resíduos são promissores como forma alternativa e inovadora na fabricação de materiais de construção.

#### Uso de PET's de água de 500ml em blocos de concreto

Levando em consideração a quantidade de descarte de garrafas de água, os autores Safinia e Alkalbani (2017) fizeram testes para introduzir essas PET's na produção de blocos de concreto. O estudo, realizado em Sultanato de Omã, utilizou garrafas de plástico para criar vazios a igual distância entre eles nas unidades de alvenaria. O concreto foi colocado em torno de cada garrafa para envolvê-lo nas unidades de alvenaria. Comparando novo bloco com o bloco de concreto oco, a resistência à compressão aumentou consideravelmente, demonstrando o quão promissor a adição de garrafas PET pode ser, mas os autores indicam que ainda são necessários novos testes.

#### Uso de resíduos de vidro em pó para substituir o concreto e agregados de polietileno para substituir areia em blocos de concreto fundido

Utilizando blocos de concreto fundidos, por serem um material de construção popular, e como objetivo sustentabilidade e economia o artigo objetivou identificar elementos que pudessem reduzir a quantidade do cimento Portland como agregado. O estudo canadense realizado por

S.E. Chidiac *et al* (2011) mostrou que é possível substituir 10% do cimento por de resíduo de vidro em pó (WGP) que as características ainda são mantidas. A substituição da areia não teve resultados muito viáveis demonstrando que se pode substituir até apenas 6% do material

Para habitação popular, no Brasil, é essencial pensar em materiais com um custo reduzido e isso pode ser feito com a incorporação de alguns resíduos. Assim, é necessário observar resíduos com grande disponibilidade no país. Nesse sentido, quanto aos resíduos orgânicos, é interessante que o estudo de blocos com resíduos de bananeira e bagaço de cana pois eles têm grande potencial no Brasil.

Além disso, substituir o cimento por resíduos de vidro em pó, além de reduzir os custos para a habitação popular, também contribui para a redução de CO<sub>2</sub>, que é emitido para a produção do cimento.

Todos esses resíduos encontrados na RSL podem ser utilizados na habitação popular no Brasil, pois apresentam possibilidade de uso nos blocos e tijolos que são largamente utilizados no país. Porém, o mais promissor desses, devido aos resultados das propriedades mecânicas foi o bloco com resíduos de construção e demolição, pois provocaria uma logística reversa, com o destino final desse resíduo sendo a própria construção, o que ocasionaria em uma solução mais eficiente para a construção civil.

Who	What	Where	When	Why	How
Lima et al	Uso da cinza do bagaço da cana com cimento em blocos de terra compactado	Brasil	2011	Grande descarte dessas cinzas diariamente	Traço: 12% de cimento Portland e 8% da cinza

Who	What	Where	When	Why	How
Mostafa e Uddin.	Uso de fibras de bananeira em blocos de terra compactados	Estados Unidos	2016	Alternativa para casas populares pelo baixo custo e abundância <u>relativa de materiais</u>	Blocos com 60 e 70 mm de fibra de bananeira natural
Rahman et al	Uso de cinza de combustível de óleo de palmeira (POFA) substituindo parcialmente o cimento em blocos de alvenaria	Malásia	2013	Alternativa para o uso de resíduos ambientalmente problemáticos e baixo custo	20% ou 40% de substituição de POFA por cimento
Contreras et al	Uso de resíduos de construção e demolição para construir tijolos	Brasil	2016	Alternativa para utilização dos resíduos de construção e demolição, que geralmente são despejados em locais impróprios	50% de cerâmica, 20% de concreto e 30% de argamassa
Kizinievič et al	Uso de casca de aveia e casca de cevada e farelo de cevada em blocos de argila	Lituânia	2017	Práticas de gestão de resíduos e economia de matérias-primas	Adicionar 5% de casca de aveia ou casca de cevada e farelo e queimar os tijolos a uma temperatura de 1000 ° C
Safinia e Alkalbani	Uso de PET's de água de 500ml em blocos de concreto	Sultanato de Omã	2016	Solução para o descarte do material, sustentabilidade	Blocos de 200x200x400 mm com 8 garrafas de água
Chidiac et al	Uso de resíduo de vidro em pó para substituir o concreto e agregados de polietileno para substituir areia em blocos de concreto <u>fundido</u>	Canadá	2011	Achar elementos que pudessem reduzir a quantidade do cimento Portland como agregado	10% do cimento por de resíduo de vidro em pó (WGP) e substituição de areia por até 6% do material

FONTE: os autores

## Conclusão

Tabela 2 – 5W1HA revisão sistemática da literatura serve para analisar os estudos previamente realizados e basear-se neles para futuras pesquisas. Além disso, é possível criar uma síntese diante de um tema específico, nesse caso, da utilização de resíduos em blocos da construção civil.

De acordo com as pesquisas e os resultados encontrados é possível notar que os estudos para a utilização de resíduos sólidos são bem comuns na engenharia civil. Eles não se restringem aos países em desenvolvimento, mas se tratam de uma questão mundial tanto para a economia de matéria prima como para a redução de custos em habitação popular.

A maioria dos autores baseou sua pesquisa em tentar incorporar elementos que substituam aglomerantes como o cimento Portland que tem um grande impacto na natureza, além de elevar os custos. Assim, a possibilidade de utilizar materiais residuais parece uma boa alternativa, como os resíduos de vidro.

Uma ideia promissora consiste em incorporar os resíduos provindos da construção civil na própria construção civil. Tendo em vista que esse setor é responsável por uma grande quantidade de resíduos urbanos, o estudo de Contreras *et al* (2016) mostrou que blocos feitos com materiais da construção e demolição apresentam as características de engenharia esperadas.

Esses estudos são demasiadamente importantes objetivando minimizar o déficit habitacional do Brasil. Com a utilização de materiais de custo mais acessível para a construção de moradias torna-se mais exequível a construção de habitações populares. São necessários ainda novos experimentos, testes e análises futuras de como esses blocos podem ser aplicados na construção de casas populares.

## Referências

- BELLO, L.** *Dia Nacional da Habitação: Brasil tem 11,4 milhões de pessoas vivendo em favelas*. jan. 2018 . Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/15700-dados-do-censo-2010-mostram-11-4-milhoes-de-pessoas-vivendo-em-favelas>>. Acesso em: 17, set. 2018.
- BENATTI, C. T. et al** *Utilização de resíduos industriais para produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil*. Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008.
- BRERETON, P. et al** *Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain*. Journal of Systems and Software, v. 80, n. 4, p. 571–583, 2007.
- CHIDIAC, S.E. et al** *Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates*. Cement and Concrete Composites Volume 33, Issue 8, September 2011, Pages 855-863
- CONTRERAS, M et al;** *Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study)*. Construction and Building Materials. Volume 123, 1 October 2016, Pages 594-600.
- DEMAJOROVIC, J. et al** *Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos*. Revista de Administração de Empresas São Paulo, v. 35, n.3, p. 88-93 Mai./Jun. 1995.
- FIORITI, C.F et al** *Fabricação de blocos estruturais de concreto com resíduos de borracha de pneus*. Environment, v.4 n.2 2004- P. 145
- GALVÃO, T. F. et al** *Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração*. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, jan-mar 2014.
- KITCHENHAM, B.** *Procedures for performing systematic reviews*. Keele, UK, Keele University, v. 33, n. TR/SE-0401, p. 28, 2004.
- KIZINIEVIČ, O et al** *Eco-friendly fired clay brick manufactured with agricultural solid waste*. Archives of Civil and Mechanical Engineering. Volume 18, Issue 4, September 2018, Pages 1156-1165
- LIMA, S. A. et al** *Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash*. Construction and Building Materials. Volume 35, October 2012, Pages 829-837
- RAHMAN, M. E. et al** *Performance of masonry blocks incorporating Palm Oil Fuel Ash*. Journal of Cleaner Production. Volume 78, 1 September 2014, Pages 195-201
- MARTINS, M. M. G.** *Gerenciamento de serviços de TI: uma proposta de integração de processos de melhoria e gestão de serviços*. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

**MENG, Y. et al** *Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks:?: An overview.* Resources, Conservation and Recycling, Volume 138, November 2018, Pages 298-312

**MOSTAFA, M.; UDDIN, N..** *Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces.* Case Studies in Construction Materials, Volume 5, December 2016, Pages 53-63

**RAUT, S. O et al** *Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste:?: A review of waste-create bricks.* Construction and Building Materials, volume 25, Issue 10, October 2011, Pages 4037-4042.

**ROCHA, J. C. et al** *Coletânea Habitar - vol. 4 - utilização de resíduos na construção habitacional* 2003.

**SAFINIA, S.; ALKALBANI, A.** *Use of recycled plastic water bottles in concrete blocks.* Creative Construction Conference 2016, CCC 2016, 25-28 June 2016.

**SAMPAIO, RF et al** *Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica.*

Rev. bras. fisioter. vol.11 no.1 São Carlos Jan./Feb. 2007

**SHON,C. et al** *Potential use of stockpiled circulating fluidized bed combustion ashes in manufacturing compressed earth bricks.* Construction and Building Materials. Volume 23, Issue 5, May 2009, Pages 2062-2071

**SOARES, L. G. C et al** *Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco – um estudo de caso.* Revista Ciências & Tecnologia Ano 1, n. 1, julho-dezembro 2007.

e) Estudo de placas cimentícias para uso em habitações populares: uma revisão sistemática da literatura

Tháisa Lana Pilz (UFPR) thaisa.pilz@gmail.com  
Júlia Ribereite de Souza Ferreira (UFPR) juliaribeirete@ufpr.br  
Janilce dos Santos Messias Negrão (UFPR) janilce@janilce.com  
Nicolle Sostek (UFPR) sosteknicolle@gmail.com  
Thalyta Genaro(UFPR) genarothalyta@gmail.com

Resumo:

Este trabalho trata do elemento de vedação de moradias populares aproveitando materiais recicláveis. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma revisão sistemática a fim de identificar pesquisas de impacto para o entendimento da técnica e de aplicação dos painéis que utilizam materiais recicláveis em habitações. Dentro deste escopo se incluem a identificação dos materiais utilizados, os traços das misturas, os resultados de testes (resistência, absorção de água, etc.), tempo destinado a execução da pesquisa e se há ou não possibilidade ou utilizá-las futuramente em projetos de habitações populares. O foco do estudo é buscar artigos que possibilitem a produção artesanal, isto é, o propósito é que no futuro o próprio morador e os voluntários possam produzir o máximo possível da moradia com as próprias mãos. Foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura nas bases de dados eletrônicas, buscando bibliografias tanto em inglês como em português, cobrindo os artigos, de revista e de congresso. Foi feita a seleção e análise dos trabalhos científicos e a extração de dados segundo a ferramenta 5W1H. Trata-se de um resumo da ideia geral dos artigos selecionados que apresentam grande relevância na pesquisa. Os resultados parecem válidos, chegou-se a traços promissores, entretanto são necessários novos estudos e prosseguimento com o desenvolvimento das placas.

**Palavras chave:** Placas cimentícias, 5w2h, revisão sistemática da literatura, habitação popular.

Abstract:

**Cement bonded for use in popular housing: a SRL**

This work deals with the element of popular house sealing using recyclable materials. The objective of this research was to develop a systematic review in order to identify impact research to understand the technique and application of panels that use recyclable materials in dwellings. This objective includes the identification of the materials used, the traces of the mixtures, the results of tests (resistance, water absorption, etc.), time for the research and whether or not there is possibility or future use in popular housing. The focus of the study is to look for articles that make possible the artisanal production, once the goal is that in the future the villager and the volunteers can produce as much of the house as possible with their own hands. A Systematic Review of Literature was carried out in the electronic databases, searching bibliographies in both English and Portuguese, covering the articles, magazine and congress. The selection and analysis of the scientific works and the extraction of data according to the 5W1H tool were made. This is a summary of the general idea of the articles selected that have great relevance in the research. The results appear to be valid, promising traits have been achieved, however, further studies and development of the plaques are required.

**Key-words:** Cement bonded, 5w2h, literature review, popular housing.

Introdução

Com o aumento da população, cresce também a demanda de recursos. Se a relação entre a

taxa de utilização e a capacidade de sustentação não for equilibrada resulta em crescimento da geração de resíduos e conseqüente aumento da poluição. Com isso, toda a forma de reciclagem é bem-vinda. Na construção civil, ramo que é responsável por grande parte do consumo de recursos naturais, muito se estuda sobre formas de reutilizar estes resíduos como substitutos ou compósitos para materiais de construção sustentáveis. A valorização desses materiais alternativos como opção ao convencional deve proporcionar um produto de qualidade, estética, e potencialmente redutor de impactos ambientais. (BRAGA JR., BENEDITO P. F. *et al*, 2005)

As placas cimentícias, peças pré-fabricadas que atuam basicamente na vedação de construções, apresentam vantagens sobre os outros materiais de mesma função, como os blocos. A praticidade, rapidez e limpeza são as principais vantagens dessa construção a seco, que exige muito menos habilidade de quem vai montá-las comparado ao preparo necessário para um pedreiro de uma obra “convencional”. Com isso, percebe-se que essa é uma ótima alternativa para construção de moradias para a população de baixa renda, uma vez que, na maioria das vezes quem as constrói são voluntários e/ou os próprios moradores, os quais geralmente apresentam pouca ou nenhuma prática na construção civil. (NOGUEIRA, L. A, 2014)

O caso da América Latina e Caribe ilustra que a diferença proporção da população urbana frente à rural passou de 68% em 1985 para 76% em 2005. Este movimento, somado ao crescimento populacional, e o modo de consumo deste período levou a um aumento de 60% na população urbana da região em 20 anos (AIDIS, 2006). No período de 1980 a 2005, a quantidade de RSU per capita aumentou 29% na América do Norte, 35% na OCDE, e 54% na UE15, acompanhando, de uma forma geral, o produto interno bruto (PIB) dos países (SJÖSTÖM e ÖSTBLÖM, 2010). Visando a solução deste problema, o presente artigo tem como foco uma revisão sistemática da literatura à respeito da possibilidade de usar resíduos em geral na produção de placas de cimento que possam ser utilizadas na construção civil, verificando suas propriedades e sempre com ligação à projetos sustentáveis e/ou de baixo custo.

#### Revisão de literatura

O crescimento e desenvolvimento da população mundial e o aumento de suas necessidades elevam consigo os níveis de poluição e a geração de resíduos. A única forma de desenvolvimento que faz algum sentido é o desenvolvimento sustentável (ERICK SOLHEIM, 2018). Inúmeros estudos vêm sendo feitos a fim de diminuir os traumas ambientais. Os resíduos da construção civil e demolição correspondem a 50% de todos os resíduos sólidos urbanos e é comumente despejado em lugares impróprios (CONTRERAS *et al*, 2016). Tendo isso em vista, muito se fala em projetos sustentáveis e diversos estudos são realizados para que haja a possibilidade de agregar os mais variados tipos de materiais reciclados em compósitos e demais utensílios da construção.

Simultaneamente, por serem alternativas de baixo custo, pensou-se em utilizar esses materiais no desenvolvimento de habitações populares, oferecendo assim melhor qualidade de vida à pessoas de baixa renda. Visintainer *et al* (2012) buscaram, em projeto, por materiais sustentáveis e baratos que, juntamente com uma forma de construção inteligente que usa elementos naturais e sustentáveis, atuem na concepção de casas para um padrão de vida pouco elevado, já que há a possibilidade de construir moradias populares (com poucos recursos financeiros) levando em conta questões ambientais.

O modelo de “*dry construction*”, ou construção à seco, é um sistema prático, barato e limpo. Alguns estudos buscam a produção de placas cimentícias utilizando materiais alternativos sustentáveis, como o de Fuwape *et al* (2007), que utilizou resíduos de papel e serragem e

prova que essa, assim como outras placas feitas com os mais diversos materiais apresentam resistência, boa aparência e são boas opções para a construção civil, com ótimo custo-benefício além do resguardo ambiental

#### Método de pesquisa

O método utilizado para desenvolver o presente artigo foi a revisão sistemática de literatura que pode ser utilizada com a finalidade de aumentar o desempenho de pesquisas ou avaliar suas tendências, investigando as características das publicações, como por exemplo: autoria, FONTES de pesquisa, temas e citações (SMALL, 2003). Definidas as questões de pesquisa deve-se ir em busca das palavras-chave para encontrar os artigos nas bases de dados. No presente estudo definiu-se os termos de busca para a obtenção de resultados convenientes ao objetivo determinado. A pesquisa foi feita em duas diferentes bases de dados eletrônicas (*google scholar* e *science direct*) e limitada a artigos em inglês e português. Quanto à determinação do tipo de publicação – livros, patentes, artigos, anais de congressos, etc. – optou-se por considerar apenas os artigos (*review articles e research articles* no *science direct*). Considera-se que, em geral, os artigos são considerados FONTES seguras para pesquisas e apresentam rigor metodológico para publicação. As palavras-chave, tanto em português como em inglês, foram selecionadas por meio de inúmeras tentativas de pesquisa testando diversos termos relacionados ao assunto, conforme a Tabela 1.

Palavras-chave	Keywords
Placas cimentícias	<i>Cement plate, cement slab, cement panel, cement bonded*, cement board, cement sheet, cement particleboard. (* apresentou o maior número de resultados.)</i>
Reciclagem	<i>Recycle</i>
Moradia	<i>Housing</i>
Sustentabilidade	<i>Sustainability</i>
Baixo custo	<i>Low cost</i>
Resíduos	<i>Waste</i>
Popular	<i>Popular</i>
Social	<i>Social</i>
Compósito	<i>Composite</i>
Traço	<i>Ratio</i>

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 1 – Palavras-chave (português e inglês)

Esses termos, utilizados separadamente e combinados, como por exemplo: Placas cimentícias e sustentabilidade, moradia e baixo custo, entre outros, possibilitaram a obtenção de 87 artigos. O primeiro passo da análise, após as pesquisas, foi excluir resultados exibidos pelas bases, por meio de uma análise superficial delas, uma vez que não estavam de acordo com os critérios previamente determinados, ou seja, artigos que não se relacionam ao tema foram descartados. Além disso, foi possível, nessa fase, eliminar alguns artigos repetidos.

Por meio da análise do resumo e conclusão do texto, foram descartados artigos que não se enquadraram aos requisitos da revisão, por exemplo, resultados com materiais não destinados à moradia (como os testados para vedar tanques de água), artigos sobre reforço das placas com fibras e não sobre as placas em si, entre outros que fogem ao tema e reduzem o número de material encontrado que se adequa. Com a leitura completa do estudo, criou-

se uma tabela com as informações principais (Tabela 3) dos artigos selecionados filtrando os artigos realmente relevantes à pesquisa e excluindo o restante dos estudos.



FIGURA 1 – Esquema das etapas da revisão sistemática FONTE: Adaptado de Dresch *et al* (2015)

Após a filtragem, foram identificados 9 artigos em que seriam relevantes ao desenvolvimento da pesquisa. Para a extração dos dados destes documentos foi utilizada a ferramenta 5W2H, porém o termo “*HOW MUCH*” foi desconsiderado na análise por não ter uma abordagem clara quanto aos custos. Essa ferramenta permite a rápida identificação de elementos principais e essenciais de um projeto. Para cada um dos estudos foram feitas as perguntas da Tabela 2.

WHO	Quem desenvolveu o artigo.
WHAT	Ensaio realizado e traço utilizado.
WHERE	Local de aplicação da placa.
WHY	Por que esse tipo de material foi escolhido.
WHEN	Quando foi publicado o artigo.
HOW	Material que foi utilizado.

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 2 – Significado da tabela 5W2H nessa pesquisa

A análise utilizando a ferramenta 5W1H foi feita seguindo a ordem da Tabela 2, propiciando, assim, uma linha de informações a fim de facilitar o entendimento imediato do texto.

Escolheu-se esse método a fim de obter uma visão panorâmica dos seguintes elementos utilizados em placas cimentícias: os materiais utilizados, os traços das misturas, os resultados de testes (resistência, absorção de água, etc.) e o tempo destinado, a fim de verificar se há a possibilidade de utilizar estes parâmetros em um futuro projeto de habitações populares no Brasil.

O item “*WHAT*”, nessa revisão, foi considerado em dois tópicos: os ensaios que foram realizados e o traço utilizado na fabricação das placas. “*WHERE*” é composto pelos locais

onde as placas foram aplicadas, por exemplo: em certos estudos as placas foram utilizadas em fachadas ou divisórias, em outros como forros e etc. O plano inicial era inserir, no item “*WHEN*”, o tempo de duração da pesquisa, testes e conclusão do trabalho. No entanto essa informação não estava presente na maior parte dos artigos e então optou-se pela data de publicação deles.

#### Resultados e discussão

Neste item são apresentados, resumidamente, os estudos que foram selecionados e quais foram seus autores, objetivos e conclusões, bem como a Tabela 3 com a síntese obtida pelo uso da ferramenta adaptada, 5W1H.

#### Placas cimentícias à base de resíduos sólidos domiciliares

**AUTORES:** João Marcos Bosi Mendonça de Moura e Lúcio Flávio da Silveira Matos

**OBJETIVO:** avaliar parâmetros físicos e mecânicos de placas cimentícias alternativas, à base de resíduos sólidos domiciliares, compostos por polímeros, papéis e vidro. Realizaram-se ensaios de determinação da resistência à compressão, resistência à flexão, de massa específica aparente, absorção de água e de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados foram comparados com os dados técnicos das placas cimentícias convencionais (sem amianto) e das placas de EPS, disponíveis na literatura. Concluiu-se que todos os índices obtidos para o compósito formado à base de resíduos proveniente da coleta seletiva do município de Blumenau-SC alcançaram os limites mínimos necessários dos parâmetros abordados, para sua aplicação em estruturas de vedação.

**CONCLUSÃO:** Os resultados permitiram de corroborar quatro hipóteses: (1) que a incorporação de RSD (resíduos sólidos domiciliares) proporcionou um significativo aumento na elasticidade da placa, tendo em vista o modo como ela se rompeu nos ensaios de resistência à compressão e flexão. Isto se deve, possivelmente, pela suficiente aderência entre o cimento, a massa acrílica e os resíduos sólidos domiciliares de formato particulado;

(2) a massa específica aparente foi mais baixa que a das placas cimentícias convencionais, possivelmente devido a presença dos resíduos. (3) Destaca-se que os padrões normativos e técnicos referentes à resistência à compressão e à absorção de água foram atendidos. (4) Através da análise de microscopia eletrônica de varredura, os polímeros PET e EPS parecem adquirir uma melhor ligação com a pasta cimentícia, se comparado ao que acontece com a zona de contato entre a pasta e resíduos fibrosos. Neste último caso, observou-se a formação de vazios, o que pode influenciar parâmetros fundamentais, aumentando a absorção de água e diminuindo a resistência mecânica.

#### Revestimento cimentício composto por resíduos da construção civil e lama de mármore e granito

**AUTORES:** Ana Claudia Marques, Alessandro Campos, Rosemary Matias, Suellen Regina de Oliveira Barreto.

**OBJETIVOS:** Este trabalho tem como objetivo produzir um revestimento cimentício de parede, que tenha, na sua composição, resíduos da construção civil (RCC), tipo A (lama de mármore e granito), e resíduos provenientes de beneficiamento de rochas ornamentais (mármore e granitos). Este trabalho é derivado de uma pesquisa de graduação onde se discutiu o destino dos resíduos da construção civil no município de Campo Grande, MS. Levando em consideração que o Brasil tem a construção civil como o segundo maior PIB, podemos também entender que a alta produção e serviço dentro deste campo é incontestável, portanto, implementar formas de reutilização destes materiais é contribuir para a economia e também para o meio ambiente. Foram realizadas coletas em cooperativas e marmorarias locais, onde foi obtida a obra prima já em forma

de agregado e depois todos os processos de montagem e forma das peças foram gerados no laboratório de materiais da Universidade Católica Dom Bosco, assim como os testes de rompimento das mesmas. As peças tiveram um resultado interessante, no que diz respeito a acabamento e porosidade, mas ainda precisa passar por novos processos para ter uma superfície mais lisa esteticamente aceitável pelo mercado, uma vez que se deseja que ela seja usada para revestimento de paredes.

**CONCLUSÃO:** As placas cimentícias apresentaram resultados satisfatórios em sua estabilização, seu acabamento superficial ainda se apresenta poroso, por conta do empacotamento dos grãos de RCC e RMG, e devido ao método de produção, com compactação manual da mistura. No entanto novas etapas na pesquisa deste produto como testes de resistência à compressão e testes de absorção de água, assim como testes de desempenhos térmicos e desempenhos acústicos, precisam ser realizadas para verificar melhor acabamento e desempenho técnico segundo as normas vigentes e melhor aceite pelo mercado.

Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal

**AUTORES:** Nivaldo T. de Arruda Filho, Carolina P. Dantas, Antonio F. Leal, Normando P. Barbosa, Cibelle G. Silva; Mavinieux V. Alexandre.

**OBJETIVO:** desenvolver elementos construtivos para forros e divisórias, a partir de matrizes cimentícias com incorporação de resíduos industriais (resíduo cerâmico, etil vinil acetato - EVA) e fibras de sisal. Desenvolveram-se técnicas de moldagem em matrizes cimentícias auto adensáveis e se avaliou a resistência mecânica dos novos compósitos. Uma placa com resíduos de EVA foi produzida e, através de trabalhos de reologia, encontrou-se a pasta matriz de revestimento desta placa, com teor adequado de adições pozolânicas e aditivo superplastificante. Avaliaram-se as resistências mecânicas das placas, da pasta matriz de revestimento encontrada, com e sem adição de fibras, e do novo compósito formado pela união desses dois elementos. Utilizou-se a técnica de alinhamento de fibras com o intuito de incrementar resistência ao novo compósito leve. A adição da matriz com fibras alinhadas melhorou a resistência a flexão do novo compósito.

**CONCLUSÃO:** Os resultados dos ensaios de resistência a compressão simples indicaram que substituição pozolânica (metaculinita e tijolo moído) aumentaram o comportamento mecânico. 2. O melhor comportamento da pasta matriz de revestimento é observado após 28 dias de cura em ambiente úmido. 3. A incorporação das fibras a pasta de revestimento da placa de etil vinil acetato (EVA), sejam elas distribuídas de forma randômica ou alinhadas dentro da pasta, acrescentaram resistência à flexão ao novo compósito quando comparada com a placa de EVA revestida com a pasta de matriz sem adição de fibras. 4. As fibras distribuídas de forma alinhadas dentro da pasta de revestimento, incrementaram resistência á flexão ao compósito (pasta matriz + placa de EVA) sendo esta, superior ao compósito com a pasta matriz de revestimento com fibras randômicas e sem fibras.

Plates made with solid waste from the recycled paper industry (placas feitas com resíduos sólidos de indústrias de papel reciclável).

**AUTORES:** M. Pelegrini, I. Gohr Pinheiro, J.A.B. Valle.

**OBJETIVOS:** Os resultados de ensaios realizados em chapas utilizadas na indústria da construção, inteiramente fabricados com resíduos sólidos de uma indústria de papel reciclado, são apresentados e comparados com os resultados obtidos com chapas de madeira. Resultados anteriores mostraram que os resíduos são compostos

essencialmente de polímeros quando estes resíduos são gerados por papel reciclado produzido com as aparas “tipo II”. Esses resíduos sólidos foram colocados em um molde que foi aquecido e prensado com uma prensa hidráulica para obter as placas. As placas produzidas foram submetidas a testes de umidade, inchamento, absorção de água, densidade, módulo de flexão estática à ruptura, módulo de elasticidade e retirada direta do parafuso. Esses mesmos ensaios foram realizados em dois tipos de placas comerciais de madeira, madeira aglomerada e compensada, a fim de compara os resultados com os obtidos com a placa de resíduos. As placas de resíduos apresentaram comportamento semelhante ao da placa de madeira aglomerada, mas foi possível distinguir maior flexibilidade na placa de resíduos e uma diferença significativa nos testes de inchamento e absorção de água que mostraram que a placa de resíduos teve melhor desempenho que a madeira aglomerada e placas de contraplacado.

**CONCLUSÃO:** Os resíduos estudados nessa pesquisa são gerados em grandes quantidades no Brasil. O desperdício em questão é descartado tornando-se um grande problema ambiental quando poderia ser usado no lugar de matéria prima para diversas aplicações. Conhecendo a composição dos resíduos (composto basicamente por polímeros), foi possível determinar os valores de resistência e densidade das placas, chegando a resultados semelhantes aos das placas de madeira testadas, trazendo algumas vantagens sobre elas como: baixa absorção de água e excelente flexibilidade. A proposta foi realizada com um controle rigoroso nos materiais que compuseram a placa. Outro ponto positivo é a possibilidade de fabricá-las em escala industrial uma vez que o equipamento que se faz preciso já é uma tecnologia conhecida. Caso a produção das placas seja feita próxima ao local do aterro muito dinheiro seria poupado. O aspecto sustentável ainda atrairia atenções mundiais.

Technical assessment of three layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust (avaliação técnica de três placas de cimento produzidas com resíduos de papel e serragem).

**AUTORES:** Joseph Adeola Fuwape, James Sunday Fabiyi, Edward Olusola Osuntuyi.

**OBJETIVOS:** As propriedades técnicas de três placas de cimento feitas com resíduos de papel e serragem foram investigadas. As placas foram produzidas em três níveis de densidade: 1000, 1200 e 1300 kg/m<sup>3</sup>. e em quatro traços de relação cimento/ partícula: 2,0: 1, 2,5: 1, 3,0: 1 e 3,5: 1. As propriedades técnicas avaliadas foram: módulo de elasticidade, módulo de ruptura, absorção de água e inchamento de espessura. Chegou se à conclusão que as relações cimento/ partícula 3,0: 1 e 3,5: são adequadas para construção civil, como painéis, tetos e coberturas divisórias mesmo em lugares de aplicação com temperaturas extremas.

**CONCLUSÃO:** a produção de placas de cimento de papel usado e serragem satisfaz a especificação placas de densidade moderada com base nos dados obtidos neste estudo.

WHO	WHAT	WHERE	WHY	WHEN	HOW
<b>4.1</b> Moura e Matos	Resistência à compressão, à flexão, massa específica aparente e absorção de água 1:1:1:0,2 massa acrílica: papéis: polímeros tipo 1 (PET e PP): polímeros tipo 2 (EPS)	Vedação	PET, PP e papéis dos resíduos coletados; EPS baixo número de indústrias na região capazes para reciclá-lo; Vidro prop mecânicas semelhantes à areia natural com custo de venda menor que o dela desmotivando sua reciclagem na região;	2015	Polímeros (PET, PP e EPS), papéis, vidro
<b>4.2</b> Marques <i>et al</i>	Estabilização da mistura, acabamento superficial; desmolde, verificar se não se decompõe; Compressão simples 1:3 (1 parte de cimento:3 partes de RCC), 1:1,5:1,5 (1 parte de cimento:1,5 partes de RCC:1,5 partes de RMG), 1:2,25:0,75	Revestimento o cimentício para aplicação interna e externa de paredes	Alternativa sustentável para a reutilização de resíduos da construção civil (RCC), tipo A, e resíduos provenientes de beneficiamento de rochas ornamentais (mármore e granitos).	2017	RCC do tipo A e a lama de mármore e de granitos (RMG)
<b>4.3</b> Arruda Filho <i>et al</i>	Resistência à compressão, resistência à flexão As placas de EVA foram produzidas no traço 1:6 (cimento: agregado EVA)	Forro e divisórias	reduzir impactos da poluição ambiental	2012	Resíduos industriais (resíduo cerâmico, etil vinil acetato - EVA) e fibras de sisal
<b>4.4</b> Pelegrini, Pinheiro e Valle	Testes de umidade, inchamento, absorção de água, densidade, resistência à flexão, módulo de elasticidade 1 kg de resíduo. pressão de 10,2 kPa e temperatura de 150°C por 2 h.	Não fala, compara com placas de madeira	A reciclagem de papel impede seu acúmulo em aterros sanitários, gasta menos energia, gera renda e diminui o consumo de recursos naturais	2009	Polímeros, componentes dos resíduos sólidos da reciclagem de papeis
<b>4.5</b> Fuwape, Fabiyi e Osuntuyi	Módulo de ruptura, módulo de elasticidade, absorção de água, inchamento de espessura relação cimento / partícula de 3,0: 1 e 3,5: 1 são adequados para construção civil	Divisórias, teto e painéis	Reaproveitamento de resíduos de papel e serragem que seria queimada ou jogada em aterros.	2006	Resíduos de papel e serragem

FONTE: Os autores (2018)

Tabela 3 – Síntese dos dados pela utilização da ferramenta 5W1H

A tabela 3 organiza os artigos mais relevantes destes temas, selecionados pelos critérios descritos no item 3 deste trabalho, além de resumir as principais informações de cada artigo de uma forma visualmente agradável, facilitando o entendimento.

#### Conclusão

A geração excessiva de resíduos tem graves consequências ambientais e sociais. A reutilização desses materiais é extremamente importante e pertinente no cenário de

crescimento populacional Atualmente, muitos estudos são feitos em prol da sustentabilidade, visando modificar materiais usados na construção civil. As mudanças buscam manter sua qualidade, mas ao mesmo tempo reduzir os impactos ambientais causados. Junto a isso, buscaram-se alternativas de baixo custo para que sejam usados como matéria prima em habitações populares. De acordo com a pesquisa, é notável uma preocupação é comum na engenharia civil e apontam um bom caminho a ser seguido, isto é, os resultados parecem válidos e positivos.

Os autores basearam a pesquisa na adição de materiais residuais a fim de diminuir o impacto causado por materiais convencionais. Uma ideia promissora é reutilizar os resíduos sólidos urbanos. Outra, é utilizar os resíduos gerados pela própria construção civil, uma vez que as placas apresentaram resultados satisfatórios em sua estabilização, apesar de precisarem de algumas melhorias. O potencial poluidor de resíduos industriais pode ser transformado em ecológico, pois também apresentaram características que indicam uma possível reutilização em placas cimentícias, principalmente no caso da indústria de papel reciclado. Nelas, os resíduos são gerados em grandes quantidades no Brasil, e em determinados traços nas placas, podem ser uma solução para certos problemas ambientais. A serragem, material que é descartado em grande quantidade, unida aos resíduos de papel e outros elementos cimentícios, também tem potencial de solução sustentável na construção dos elementos de fechamento destinados a moradias de baixo custo.

Os trabalhos encontrados mostram diversas formas de construir essas placas, usando diferentes tipos de resíduos, de maneira satisfatória. Isto é, os testes, como de absorção de água, resistência à tração e compressão, entre outros, apresentaram bons resultados e confirmam a viabilidade técnica desta tecnologia.

Essas pesquisas têm grande relevância, considerando os inúmeros desabrigados e moradias com menos que o mínimo necessário para serem consideradas dignas. O déficit habitacional do Brasil pode, com esses materiais de baixo custo, ser reduzido. Por este motivo as pesquisas teóricas devem ser continuadas e buscando sempre se manter atualizadas. É importante também intensificar a realização de testes práticos para futuras aplicações dos projetos, como o que pretende ser desenvolvido nos próximos passos desta pesquisa, caminhando assim para a solução, ou ao menos a diminuição de todos os problemas habitacionais e ambientais citados.

## Referências

- ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS).** *Directrices para la Gestion Integrada y Sostenible de Residuos Solidos Urbanos en America Latina y el Caribe.* São Paulo, 2006. 118 p.
- BENATTI, C. T.; LUCAS, Denis.** *Utilização de resíduos industriais para produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil.* Agronegócios e Meio Ambiente, v. 1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008.
- BRAGA JR., BENEDITO P. F. et al.** *Introdução à engenharia ambiental, o desafio do desenvolvimento sustentável.* 2 edição. Abr. 2005.

**DEMAJOROVIC, Jacques.** *Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos.* Revista de Administração de Empresas São Paulo, v. 35, n.3, p. 88-93 Mai./Jun. 1995.

**ARRUDA FILHO N.T.; DANTAS C.P; LEAL A.F; BARBOSA N.P; SILVA C.P; MAVINIEUX, A.V.** *Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal v.16, n.8, p.894-902, 2012.*

**FUWAPE J.A; FABIYI J.S; OSUNTUYI E.O.** *Technical assessment of three layered cement-bonded boards produced from wastepaper and sawdust. Volume 27, Issue 11, Pages 1611-1616, 2007.*

**LACERDA, DANIEL PACHECO; DRESCH, ALINE; ANTUNES, JOSÉ ANTONIO VALLE.** *Design Science Research - Método de Pesquisa Para Avanço da Ciência e Tecnologia, 2015.*

**MOURA, J.M.B.M.; MATOS L.F.S.** *Placas cimentícias à base de resíduos sólidos domiciliares. v. 17, n. 1, 2015.*

**M. PELEGRINI; I. GOHR PINHEIRO; J.A.B. VALLE.** *Plates made with solid waste from the recycled paper industry. Volume 30, Issue 2, February 2010, Pages 268-273.*

**M. CONTRERAS; S.R. TEIXEIRA; M.C. LUCAS; L.C.N. LIMA; D.S.L. CARDOSO; G.A.C. DA SILVA; G.C. GREGÓRIO; A.E. DE SOUZA A. DOS SANTOS.** *Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study).* Construction and Building Materials. Volume 123, 1 October 2016, Pages 594-600.

**SAMPAIO, RF et al** *Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. vol.1,1 no.1, São Carlos, Jan./Feb, 2007.*

**SJÖSTRÖM, M.; ÖSTBLOM, G.** *Decoupling waste generation from economic growth – A CGE analysis of the Swedish case. Ecological Economics, v. 69, Issue 7. 15 May 2010, p.1545-1552.*

**SOARES, Liliane Gadelha da Costa; SALGUEIRO, Alexandra Amorim; GAZINEU, Maria Helena Paranhos.** *Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco – um estudo de caso.* Revista Ciências & Tecnologia. Tecnologia Ano 1, n. 1, julho-dezembro 2007

### **APÊNDICE 3 – Publicações produzidas em 2019 pelas Revisões de Literatura sobre temas correlatos à pesquisa.**

Trabalhos publicados no CONBREPPO 2019 e disponíveis nos anais do congresso.

- a) Produção Mais Limpa em uma Cooperativa de Triagem de Resíduos em Curitiba-PR: Um estudo de caso para reduzir rejeitos

**Janilce Negrão, Ana Paula Calliari, Marcell Mariano Corrêa Maceno, Nicolle Christine Sotsek Ramos, Adriana de Paula Lacerda Santos**

**Resumo:** Os seres humanos enfrentam um desafio diariamente para gerenciar os diversos resíduos produzidos. As cooperativas assumem o papel de auxiliar a gestão desses resíduos com o objetivo de contribuir para um aumento da vida útil dos materiais e, conseqüentemente, redução da produção de novos insumos. O objetivo deste artigo foi propor a redução de rejeitos em uma Cooperativa em Curitiba-PR através da utilização da metodologia de Produção Mais Limpa (P+L). Para isso, o estudo foi dividido em 3 fases, sendo que na primeira, foi realizado um diagnóstico inicial da atividade através de visita *in loco*, e posterior reunião com os responsáveis locais para definição da estratégia de trabalho, elaboração da equipe de trabalho, e também identificação de metas e barreiras. A fase II seguiu com novas visitas ao local da Cooperativa, coleta dos dados de resíduos recebidos e vendidos pela cooperativa já registrados (fluxos de entrada e saída de material), e também amostragem de rejeitos. Esta amostragem de rejeitos foi realizada, pois a Cooperativa não tem controle em relação a tipologia e a quantidade por tipologia dos rejeitos que são destinados a coleta pública municipal Após a quantificação dos resíduos vendidos e também dos rejeitos por tipologia, passou-se a fase III, com o objetivo de propor ações para redução dos rejeitos gerados pela cooperativa, e conseqüente aumento da eficiência da atividade. Para isso, foi realizado um levantamento de possíveis ações e também foi discutido com os responsáveis locais sobre as alternativas identificadas. Ao final, foi verificado que grande quantidade dos rejeitos não tem viabilidade de aproveitamento para valorização através de venda e reciclagem, pois eles não apresentam valor de mercado, tais como o plástico PVDC e o plástico metalizado. Apesar disso, foi evidenciado que existem massas de papel branco e papelão que compunham a massa de rejeitos. Para estes resíduos, foi proposta uma alternativa de rearranjo da atividade para que minimize e futuramente elimine a possibilidade de que resíduos com valor de mercado sejam destinados a aterro sanitário por erro de triagem.

**Palavras chave:** Cooperativa de triagem de resíduos, Produção mais Limpa, Valorização de resíduos.

#### **Cleaner Production in a Waste Sorting Cooperative in Curitiba-PR: A case study to reduce unused waste**

**Abstract:** Humans face a daily challenge to manage the various wastes produced. Cooperatives assume the role of assisting in the management of this waste with the aim of contributing to an increase in the useful life of materials and, hence, a reduction in the production with virgin raw material The aim of this paper was to propose the reduction of unused waste in a Cooperative in Curitiba-PR using Cleaner Production (P + L) methodology. For this, the study was divided into 3 phases, and in the first phase, an initial diagnosis of the

activity was made through an on-site visit, and later a meeting with the local responsible for defining the work strategy, creation of the work team, and also identification of goals and barriers. Phase II continued with further visits to the Cooperative, collection of waste data received and sold by the cooperative already recorded (material inflows and outflows), and unused waste sampling. This unused waste sampling was carried out, because the Cooperative has no control regarding the type and quantity by type of unused waste that are destined for landfill. After the quantification of waste sold and unused waste by type, phase III was carried out, aiming to propose actions to reduce the unused waste generated by the cooperative, and consequently increase the efficiency of the activity. For this, a survey of possible actions was carried out and was also discussed with local responsible about the alternatives identified. In the end, it was found that a large amount of unused waste is not viable for recovery through sale and recycling, as they have no market value, such as PVDC plastic and metallized plastic. Nevertheless, it was evidenced that there are masses of white paper and cardboard that made up the unused waste mass. For this waste, an alternative activity rearrangement has been proposed so that it minimizes and, in the future, to eliminates the possibility that waste with market value will be sent to landfill due to sorting error.

**Keywords:** Waste sorting cooperative, Cleaner Production, Waste recovery.

## Introdução

Um grande desafio enfrentado pela humanidade é o gerenciamento de resíduos sólidos, em função deles serem produzidos em grande quantidade tanto pelas indústrias como pelas pessoas diariamente (CHEN et al, 2009).

A sustentabilidade ambiental pode ser construída a partir de um sistema que tem por objetivo a redução de rejeitos, a reutilização e a reciclagem de materiais que possam ser considerados matéria prima sendo que, além de diminuir a geração de lixo, proporcionam geração de renda (KING e GUTBERLET, 2013).

Neste contexto, as cooperativas assumem o papel de contribuir para gestão dos resíduos sólidos, com o objetivo da extensão da vida útil dos materiais, separação e fornecimento de matéria para as indústrias. Elas também auxiliam na diminuição de problemas ambientais ocasionados por esses resíduos contribuindo para a sustentabilidade urbana (COSTANZA et al, 1991).

Portanto, uma alternativa para a gestão adequada dos resíduos é enxergá-los como matéria prima, e isto pode ser facilitado pelas cooperativas de resíduos presentes nos centros urbanos. Assim, essas cooperativas contribuem para um aumento da vida útil de diversos materiais, reduzindo com isso a extração de matérias virgens (GUTBERLET, 2015).

Neste contexto, para auxiliar na manutenção de estoques de recursos naturais, a reciclagem de resíduos sólidos é essencial (LUCAS e BENATTI, 2008), e as cooperativas, no Brasil, assumem um papel importante no processo.

Apesar disso, muitas das vezes as cooperativas apresentam processos ineficientes, que acabam por desperdiçar muitos dos materiais que poderiam apresentar retorno para reciclagem (DUTRA et al, 2018). Além disso, podem existir resíduos dentro de cooperativas que são tratados como rejeitos, porém podem ser exploradas alternativas no mercado para que estes possam ser assimilados. Neste sentido, a utilização de metodologias como a Produção + Limpa torna-se aliada na identificação de problemas de processo e busca de melhorias para eficiência de atividades (CNTL, 2003).

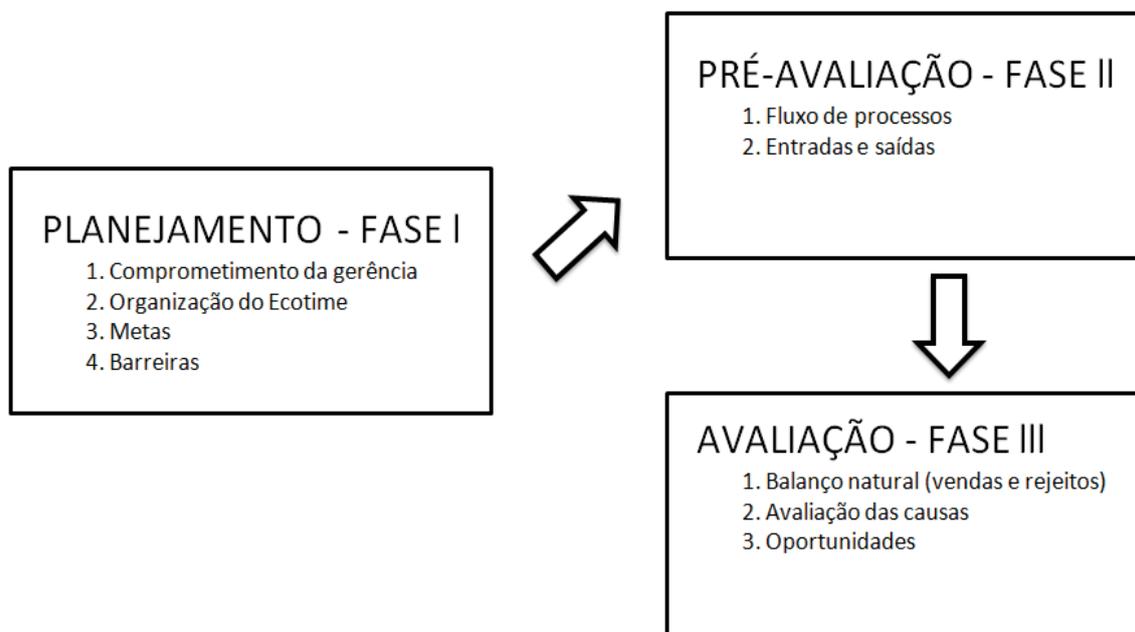
Desta forma, este estudo teve por objetivo identificar oportunidades de melhoria de gestão de resíduos de uma Cooperativa de recicláveis localizada em Curitiba- PR através da

metodologia P+L.

### Método de Pesquisa

A área de estudo foi uma Cooperativa de triagem e venda de resíduos localizada no Município de Curitiba – PR. Esta cooperativa recebe resíduos de órgãos públicos, empresas privadas, e também do programa “SE-PA-RE” da prefeitura da cidade. Este programa tem por objetivo coletar os resíduos recicláveis gerados em Curitiba e destiná-los para reciclagem através das cooperativas de triagem, gerando, além do benefício ambiental, emprego e renda para populações muitas vezes em situação de vulnerabilidade social (PREFEITURA DE CURITIBA, 2018).

Neste sentido, o método de pesquisa utilizado consistiu na adoção “guia de Implantação de Programas de Produção Mais Limpa - Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa” (CNTL, 2003), o qual foi adaptado para este estudo conforme FIGURA 1.



FONTE: Adaptado de CNTL (2003)

FIGURA 1 – Adaptação das fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa

A Fase I se iniciou através de uma visita à cooperativa realizada em outubro de 2018 com o objetivo de visualização da atividade, geração de diagnóstico visual de problemas na execução da atividade e reunião de encerramento com os responsáveis locais com o intuito de gerar convencimento para adoção da produção mais limpa. Nesta reunião foram abordados problemas iniciais levantados bem como e discussões sobre a necessidade de melhorias deles através da produção mais limpa. Ao final dela, foi criado o ecotime, composto pelo gerente da cooperativa, uma aluna e um professor, ambos da UFPR, com objetivo principal de propor alternativas para rejeitos gerados na cooperativa através da utilização da produção mais limpa (P+L).

Além disso, foi definida como meta de trabalho a busca de redução do volume de rejeitos gerados pela cooperativa. E como barreiras deste processo foram consideradas a equipe de trabalhadores com baixa instrução, a desorganização do ambiente de trabalho, o valor

agregado desses materiais e a condição que os resíduos chegam na cooperativa, muitas vezes misturados com os resíduos orgânicos.

Na fase II, foram realizadas visitas com o objetivo de mapeamento do processo para identificar pontualmente onde se encontram os maiores problemas. Isto possibilitou a construção do fluxo de atividades. Além disso, foi realizado a contabilização dos resíduos e rejeitos, considerando os dados de entrada e saída de resíduos registrados pelo gestor da cooperativa. Foram utilizados dados de 12 semanas do ano de 2018, que possuíam registros de entrada e saída, quando da coleta de informações in loco. Já para a quantificação da massa de rejeitos gerados pela cooperativa pós triagem, foram realizadas três visitas em um intervalo de dez dias ao longo do mês de outubro de 2018. Em cada uma destas visitas foram coletadas 5 amostras com aproximadamente 40 gramas de rejeito cada uma. Estas amostras foram posteriormente destinadas a UFPR para identificação dos tipos de rejeitos e a quantificação de massa deles. Através desta amostragem e quantificação, possível identificar o percentual de cada tipo de material componente do rejeito.

Por fim, na fase III, com os dados de venda e rejeitos da cooperativa foi realizado uma análise dos resultados da Fase II, buscando identificar principalmente a composição do rejeito e assim, buscar oportunidades de valorização deles e consequente redução dos rejeitos da cooperativa.

### **Resultados e Discussão**

O objetivo principal deste artigo foi propor melhorias em rejeitos através da produção mais limpa (P+L) em uma cooperativa situada em Curitiba. Isso se deu em conjunto ao apoio da gerência do local e foi baseado a partir de metas e barreiras como apresentado no método de pesquisa.

Na primeira Fase do estudo, os principais problemas identificados foram:

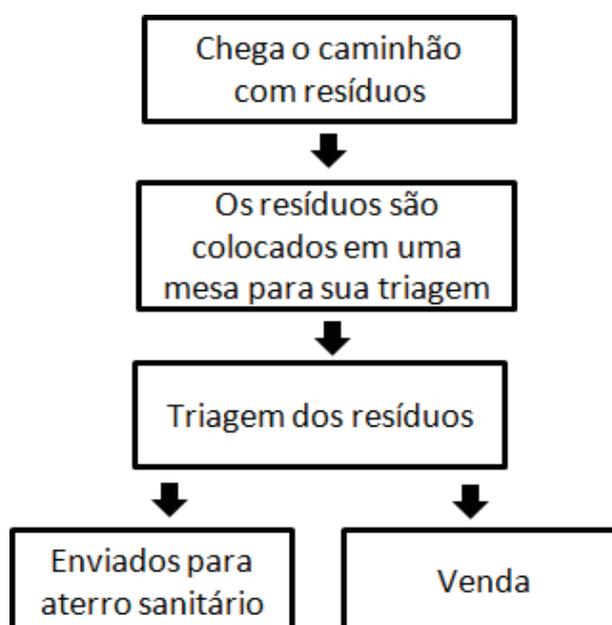
- Os resíduos sólidos chegam na cooperativa contaminados com resíduos orgânicos dos locais, tornando-se rejeitos muitas vezes por esse motivo;
- Ocorre erro na triagem decorrente da falta de treinamento e também devido ao comprometimento dos cooperados, muitas vezes relatados por eles próprios no local de trabalho;
- Existe desorganização do ambiente de trabalho, que influencia na eficiência do processo de triagem pelos cooperados;
- Existe ainda resíduos que, apesar de possuírem mercado, não são comercializados porque as empresas do ramo somente aceitam comprar estes resíduos em grande quantidade, inviabilizando a acumulação deles no local de trabalho; e
- Por fim, a ausência de mercado para comercialização de alguns materiais destinados a cooperativa.

Após este diagnóstico inicial, de modo a tornar claro o problema de rejeitos na cooperativa, foi realizada a pré-avaliação, na Fase 2, obtendo-se inicialmente o fluxo de triagem dos resíduos da cooperativa, conforme FIGURA 2.

Neste fluxo de triagem, os resíduos chegam na cooperativa a partir dos caminhões de coleta de resíduos, sendo tanto caminhões do programa SE-PA-RE da Prefeitura de Curitiba, como também de coleta própria através do caminhão da cooperativa.

O caminhão da cooperativa trás resíduos advindos de órgãos públicos e empresas privadas. Estes resíduos não possuem uma periodicidade definida de chegada, porém eles vêm bastante limpos, sendo aproveitados praticamente por completo para venda por tipologia. Os principais resíduos que vem através do caminhão da cooperativa são: Metais (restos de equipamentos), papel de impressão e papelão, plásticos de embalagem, Isopor, e Vidros de embalagens.

Já os caminhões do programa SE-PA-RE chegam três vezes por semana, sempre as segundas, quartas e sextas-feiras, ao final da manhã. Estes caminhões chegam com resíduos recicláveis coletados nas residências de moradores do município. Apesar de serem coletados como recicláveis, muitos destes resíduos vem contaminados, e acabam compondo a massa total de rejeitos.



FONTE: Os autores (2019)

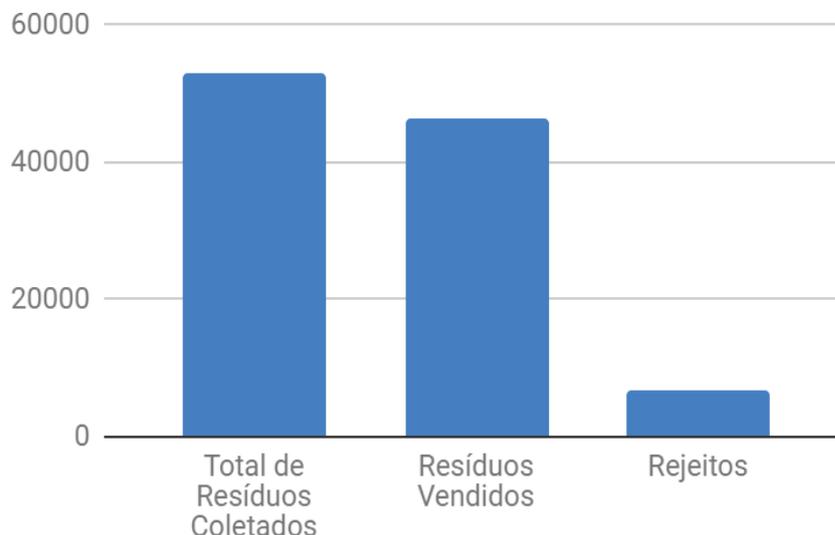
FIGURA 2 – Fluxo da triagem na cooperativa

Após a chegada dos caminhões, os materiais são dispostos em uma mesa para que os trabalhadores possam fazer sua triagem. Através desta separação, os cooperados definem o que vai ser descartado ou vendido. Os materiais considerados com valor de venda são organizados em Bags de rafia, e os rejeitos são acumulados em tambores plásticos, sendo posteriormente coletados pela coleta pública municipal com destino a aterro sanitário.

Ainda nesta fase II, foi verificado pós levantamento do processo que a cooperativa possuía os dados de resíduos recebidos e vendidos, porém não tinha controle em relação a tipologia e quantidade por tipologia de rejeitos que eram destinados a coleta pública municipal. A identificação qualitativa e quantitativa destes rejeitos gerados na cooperativa é importante para buscar melhoria da atividade, pois pode-se inicialmente considerar que estes rejeitos

podiam fazer parte dos resíduos vendidos, dependendo do tipo e condições deles.

Neste sentido, foi realizada a quantificação dos rejeitos através da coleta de materiais *in loco* (3 coletas com 5 amostragens e cada coleta). Já os resíduos com valor de mercado foram quantificados pela análise dos dados de vendas da cooperativa. Assim, foi possível definir a quantidade de resíduos e rejeitos médio mensal na cooperativa, conforme pode ser visto na FIGURA 3.



FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 3 – Resíduos da Cooperativa em kg para um mês de trabalho. Obs: Média obtida pela análise de 12 semanas de dados registrados pelo gestor da atividade

A análise dos dados de vendas e também das coletas de rejeitos realizadas também possibilitou identificar ainda os resíduos e rejeitos por tipologia, conforme Tabela 1.

<b>Materiais Vendidos</b>	<b>Rejeitos</b>
Sucata	Papel alumínio
Papelão	Papelão
Papel Branco	Copo de iogurte
Tetrapack	Embalagem de remédio
Pet branco	Plástico metalizado
Pet bagunça	Plástico estralado (5)
Pet óleo	Plástico estralado (7)
Balde bacia colorido	Plástico estralado não identificado
Pead colorido	Plástico perolado
Cristal limpo	Papel de hospital
Cristal sujo	Plástico de hospital
Pote de margarina	Plástico de café
Mineral	Papel branco
Sacolinha	Plástico filme Isopor
PS	PP
Latinha	perolado
Alumínio	PP
Motor	PET PCR

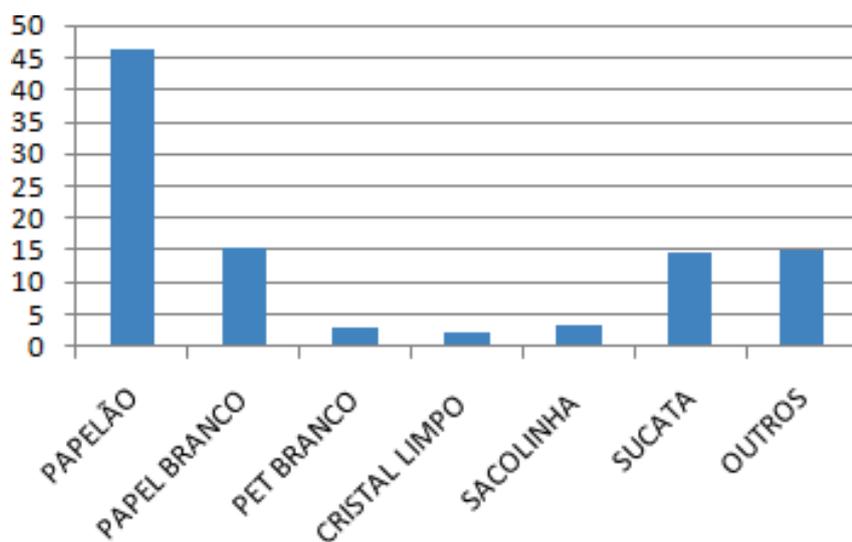
Ferro fundido

PP estralado

FONTE: Os  
autores (2019)

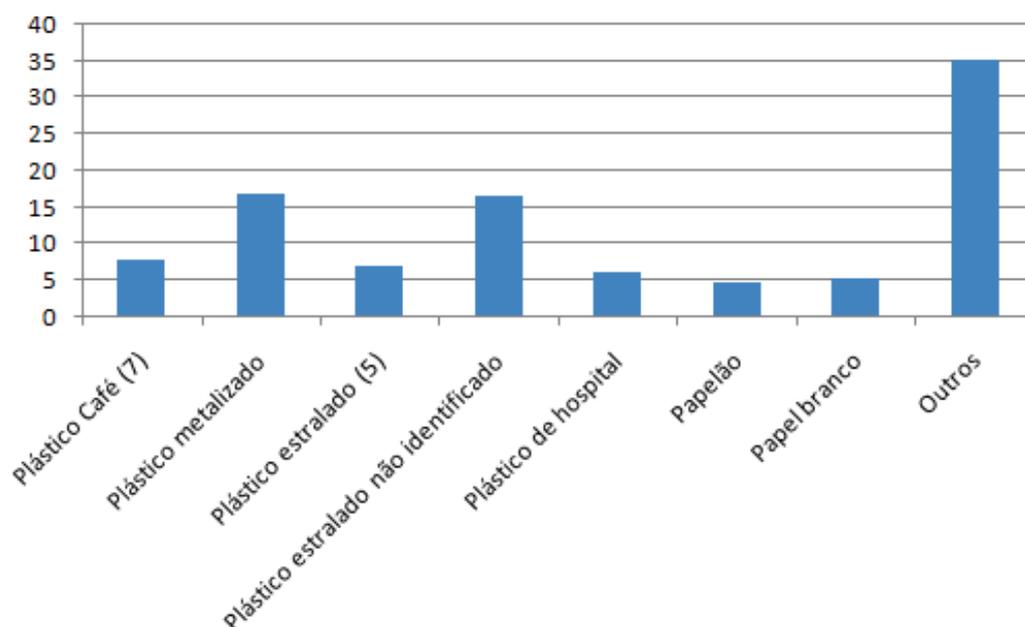
Tabela 1 – Principais materiais vendidos e rejeitos

Também foi possível obter os percentuais na massa total de resíduos e rejeitos circulante na cooperativa. Assim, os resíduos com os maiores percentuais de vendas são apresentados na FIGURA 4 e os rejeitos com maior percentuais em massa do total deles podem ser visualizados na FIGURA 5.



FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 4 – Resíduos vendidos pela cooperativa, em porcentagem



FONTE: Os autores (2019)

FIGURA 5 – Rejeitos identificados através da coleta e amostragem, em porcentagem

Com esses dados foi possível ver que os materiais descartados pela cooperativa representam em torno de 13% dos materiais que chegam à ela, sendo destinados para aterro sanitário através da coleta pública municipal da cidade de Curitiba – PR.

Os principais materiais presentes na massa de rejeitos foram o plástico metalizado (tais como embalagens de salgadinho e de bolachas), e variações do plástico estralado ou PVDC (poli(cloreto de vinilideno)). O plástico metalizado (ou BOPP – Polipropileno bi-orientado) possui reciclagem, porém com alto custo e tecnologia ainda não disseminada, inviabilizando sua comercialização localmente. Já o PVDC não possui reciclagem, sendo considerado um material improvável para reciclagem, conforme Nestle (2019).

Apesar disso, foram identificados materiais como Papel Branco e Papelão, os quais poderiam ser direcionados para a venda.

Neste contexto, a principal ação identificada para a redução dos rejeitos e consequente aumento de eficiência da atividade de triagem da cooperativa seria: Reorganizar o processo de triagem de modo a reduzir o descarte de resíduos aproveitáveis para venda. Isto possivelmente deve ser realizado através da instalação de esteiras rolantes para passagem dos resíduos, divisão das atividades de triagem por cooperado, pois hoje cada cooperado separa qualquer tipo de resíduo, dificultando a padronização da atividade, e também treinamento dos cooperados para executar este novo formato de triagem. Sugere-se ainda que haja o deslocamento de algum cooperado para o final da esteira, que seria responsável por triar resíduos que deveriam ter sido separados por cooperados no início da esteira, mas não foram possivelmente por erro de trabalho.

Outras ações tais como a busca de novos mercados para a assimilação de resíduos não aproveitáveis mostrou-se inviável devido a ausência de recicladoras locais ou de tecnologia de reciclagem para determinados resíduos como o PVDC. Além disso, ações relacionadas ao uso de tecnologias mais avançadas para triagem, como utilização de mecanização e automação também mostrou-se inviável devido a baixa disponibilidade de recursos pela Cooperativa.

### **Considerações Finais**

Este artigo buscou identificar e analisar os rejeitos gerados por uma Cooperativa de triagem de resíduos localizada no município de Curitiba-PR. Através desta análise, visou-se propor alternativas de gestão de resíduos através da metodologia P+L para reduzir a quantidade percentual de rejeitos destinados para aterro sanitário através da coleta pública municipal

Neste sentido, foi verificado que em torno de 13% da massa total de resíduos circulantes na Cooperativa são destinados para a coleta pública municipal na forma de rejeitos. Estes rejeitos são oriundos principalmente dos resíduos recebidos através do Programa SE-PA-RE da prefeitura de Curitiba.

Dentre a massa de rejeitos, percebeu-se a presença de materiais misturados / contaminados, principalmente por resíduos orgânicos, e também materiais que não possuem possibilidade atual de reciclagem.

Os principais rejeitos encontrados foram os plásticos do tipo PVDC (poli(cloreto de vinilideno)), plástico metalizado, plástico de café (metalizado), plástico de hospital, papel branco e papelão.

Os plásticos PVDC, plástico metalizado e plástico de hospital não tem viabilidade atual de valorização de resíduo, tal como a reciclagem. Já o papel branco e papelão possui mercado, e já é vendido pela cooperativa. Apesar disso, parte destes materiais vinham contaminado com

resíduos orgânicos, e parte não contaminada não era separado pelos cooperados devido a problemas de trabalho na triagem. Desta forma, percebeu-se como a principal ação de melhoria a reorganização e melhoria da atividade de triagem, de modo a reduzir e futuramente eliminar o encaminhamento de papel branco e papelão, viável para venda, que é atualmente destinado a aterro sanitário.

## Referências

- CHEN, X.; GENG, Y.; FUJITA, T. An overview of municipal solid waste management in China. **Journal of Waste Management**, v. 30, p. 716–724, 2010.
- CNTL. **Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa**. 2003. Disponível em: [https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/manual\\_cinco\\_fases\\_da\\_producao\\_mais\\_limpa.pdf](https://www.senairs.org.br/sites/default/files/documents/manual_cinco_fases_da_producao_mais_limpa.pdf). Acesso em: 15/08/2018.
- COSTANZA, R.; DALY, H.E.; BARTHOLOMEW, J.A. Goals, Agenda, And Policy Recommendations For Ecological Economics. **Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability**, p. 1-20, 1991.
- DUTRA, R. M. S.; YAMANE, L.H.; SIMAN, R.R. Influence of the expansion of the selective collection in the sorting infrastructure of waste pickers' organizations: A case study of 16 Brazilian cities. **Journal of Waste Management**, v. 77, p. 50-58. 2018.
- GUTBERLET, J. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. **Journal of Waste Management**, v. 45, p. 22–31. 2015.
- KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil. **Journal of Waste Management**, v. 33, p. 2771–2780, 2013.
- LUCAS, D.; BENATTI, C.T. Utilização de resíduos industriais para produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.3, p. 405-418, 2008.
- NESTLÉ. **The negative list: Nestlé identifies the six “no go” plastics types in its sustainability charge**. Disponível em: <https://www.packaginginsights.com/news/the-negative-list-nestle-identifies-the-six-plastic-types-it-will-avoid.html>. Acesso em: 01/07/2019.
- PREFEITURA DE CURITIBA. **Coleta de Lixo. Pare e SE-PA-RE**. Disponível em: <https://coletalixo.curitiba.pr.gov.br/>. Acesso em: 30/11/2018.

- b) Desenvolvimento de compósito cimentício para a Construção Civil a partir do uso de resíduos seco

**Janilce dos Santos Negrão, Giovana Fischer Bertoldo, Adriana de Paula Lacerda Santos, Nicolle Sotsek, Marcell Mariano Maceno**

**Resumo:** Este artigo apresenta parte dos resultados da pesquisa que visa o desenvolvimento de compósitos com inclusão de resíduo seco que possam ser utilizados para a construção civil. Nos compósitos cimentícios reportados neste artigo foram abordadas as fibras de celulose provenientes de papéis como papelão comum, papelão de caixa de ovo e papel termo sensível. Foram feitos experimentos em laboratório a fim de identificar a resistência a compressão, a tração na flexão e a absorção por capilaridade de cinco argamassas com traços distintos. Assim, foi levado em consideração não só o desempenho mecânico dos compósitos encontrados na literatura, mas também as suas particularidades visando identificar a possibilidade de aplicação dessas argamassas em produtos da construção civil tais como placas para vedação horizontal. Todos os corpos de prova com incorporações de fibras de celulose apresentaram uma diminuição da resistência à compressão e um aumento na absorção quando comparados ao padrão (argamassa de cimento, areia e água). A argamassa que obteve melhor desempenho mecânico e de absorção de água por capilaridade foi a que contém resíduo de papelão de caixa de ovo (60 a 80g de resíduo para cada 1kg de cimento e 0.5l de água) com uma redução em sua resistência mecânica de aproximadamente 10% e um aumento em sua absorção de 2,3g/cm<sup>2</sup> quando comparado ao corpo de prova padrão. Com os resultados atingidos foi possível concluir que é possível usar os resíduos sólidos para elaboração de compósitos na área de construção civil.

**Palavras-chave:** compósito, construção civil, resíduos

#### **Development of cementitious composite for civil construction using dry waste**

**Abstract:** This article presents part of the results of the research aimed at the development of composites with the inclusion of dry waste that can be used for civil construction. In the cementitious composites reported in this article, cellulose fibers from papers such as plain cardboard, egg carton cardboard and thermosensitive paper were addressed. Laboratory experiments were carried out in order to identify the compressive strength, flexural traction and capillary absorption of five mortars with distinct traits. Thus, it was taken into account not only the mechanical performance of the composites found in the literature, but also their particularities in order to identify the possibility of applying these mortars in civil construction products such as plates for horizontal sealing. All specimens with incorporation of cellulose fibers showed a decrease in compressive strength and an increase in absorption when compared to the standard (cement mortar, sand and water). The mortar that obtained the best mechanical performance and water absorption by capillarity was the one that contains egg carton cardboard waste (60 to 80g of waste for every 1kg of cement and 0.5l of water) with a reduction in its mechanical strength of approximately 10% and an increase in its absorption of 2.3g/cm<sup>2</sup> when compared to the standard specimen. With the results achieved, it was possible to conclude that it is possible to use solid waste to make composites in the area of civil construction.

**Keywords:** composite, construction, waste

## **Introdução**

O meio ambiente é a principal FONTE de recursos para a sobrevivência dos seres humanos e o desenvolvimento das sociedades. A alteração no meio visando maior qualidade de vida e consumo, contudo, pode trazer problemáticas utilitaristas (SOARES et al, 2007). A indústria, impulsionada pelo consumismo e o setor comercial, facilitam uma troca de serviços e produtos, muitas vezes desnecessários. Esta grande oferta e demanda, contudo, implica na geração de poluentes. Intensificando assim os impactos negativos ao meio e a sociedade.

A crise ambiental é assim intensificada com o crescimento populacional, a alta demanda de recursos e a baixa absorção de rejeitos. A concentração urbana, implica em uma projeção ambiental desenfreada, surgindo vários problemas como a falta de planejamento sanitário, a impermeabilização do solo (enchentes e inundações) e o aumento da geração de resíduos sólidos domiciliares e industriais (TAM et al, 2018).

Logo, ao priorizar uma gestão ambiental, ao reaproveitamento de resíduos poderia se usufruir de uma economia cíclica. Algo que possui uma representatividade significativa no panorama nacional sabendo que segundo Carnitatto (2010), “dados do ministério do meio ambiente brasileiro indicam que, o Brasil produz cerca de 90 milhões de toneladas de lixo por ano e cada brasileiro gera, aproximadamente, 500 gramas de lixo por dia, podendo chegar a 1 kg, dependendo do local em que reside e de seu poder aquisitivo”. Uma produção mais limpa pode aproveitar estes recursos, criando um ciclo de vida a estes produtos muitas vezes menosprezados (SANTOS et al, 2014).

Pode-se citar, então, os processos de produção voltados à construção civil e seus relacionados. Estes apresentam-se como uma alta FONTE de geração de resíduos, levando em consideração os rejeitos gerados em obra e na produção de materiais (TAM et al, 2018). Tam apresenta em seus estudos que a construção civil é a maior consumidora de recursos naturais visto que entre 2007 a 2014 a demanda global pela produção de agregados naturais quase dobrou de 21 para 40 bilhões de toneladas. Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias se faz necessário, procurando uma melhoria nos materiais e métodos construtivos. (LUCAS et al, 2008).

Assim, a finalidade deste artigo é encontrar materiais alternativos oriundos de rejeitos sólidos domiciliares a serem incorporados em compósitos cimentícios. Avaliando não só as características dos atuais compósitos existentes meio científico, como também suas particularidades visando identificar a possibilidade de aplicação dessas argamassas em peças da construção civil como blocos, pavers, painéis e placas que possam ser usadas em habitação popular. Desta forma, ao analisar opções e melhorias em suas propriedades, a criação de novos produtos através de resíduos traria não apenas mudanças na sociedade como também no meio ambiente.

## **Revisão da literatura**

A fabricação de peças cimentícias como painéis, blocos, revestimentos e telhas com a inclusão de resíduos como compósitos não é algo novo na construção civil. (Wiemes et al, 2015; Rao et al, 2011). Alguns dos mais utilizados são os rejeitos da própria construção civil (SANTOS et al 2014, LUCAS et al 2008, TAM et al 2018; WOLFF et al 2016), e polímeros como PET (Polietileno tereftalato), PVC (Policloreto de vinila), PEAD (Polietileno) e PP (Polipropileno) (Moura et al 2015, Batayneh et al 2007).

Verificou-se, então, que entre a gama de compósitos já estudados como inclusão em matrizes cimentícias, se destacam como incrementadoras de propriedades mecânicas e de resistência ao impacto, as fibras vegetais e naturais (PACHECO et al, 2010). As chamadas VF

(fibras vegetais ou de celulose, do inglês: vegetable fibers), foram introduzidas no mercado em 1940 como potencial substitutas para as de amianto, garantindo uma produção mais ecologicamente correta. (ARDANUY et al 2015). Estas, atraentes também por suas propriedades como: rigidez, flexibilidade, respostas térmicas e eletrostáticas, biodegradabilidade, viabilidade econômica e baixa densidade. (Mantovani et al 2017; Sgriccia et al 2008; Dhakal et al 2007). Sabe-se também que cada um dos tipos diferentes de VF, como as fibras de sisal, folha de bananeira, eucalipto, cânhamo, industriais (fábricas de papel e celulose), tem diferentes resultados quando aplicadas a testes físicos e mecânicos (SHOKRICH et al 2015, SAVASTANO et al, 2000) ou quando analisadas quanto a capilaridade do material

De acordo com (FERGUNSON, 1992), o papel pode ser reciclado de seis a dez vezes, o que demonstra a capacidade do prolongamento do ciclo de vida deste produto. Assim destaco com VF: o papelão, que é um tipo mais grosso e resistente de papel, muito utilizado na fabricação de caixas para produtos, podendo ser liso ou enrugado, ele é produzido dos papéis compostos das fibras da celulose, que são virgens ou reciclados; as caixas de ovos, que são feitas de papelão reciclável e no final do seu uso é descartada pois a sua reciclagem é limitada pelo fato de não ser um material virgem e já estar com as fibras celulósicas comprometidas assim impossibilitando sofrer mais um processo de reciclagem; e o papel termo sensível ou térmico, que é leve, liso, é muito usado em máquinas de cartão de crédito e caixas registradoras e possui uma camada química composta por BPA (Bisphenol A) que muda de cor quando exposto ao calor e por isso não pode ser recilado.

Sabendo do exposto, com o intuito de estabelecer a melhor metodologia para propriedades mais favoráveis e resultados de ensaios de tração, compressão e absorção adequados, foram escolhidos para o estudo fibras de celulose oriundas de rejeitos sólidos domiciliares. Como aponta Moura (2015), as fibras naturais possuem inúmeras propriedades as quais as fazem uma alternativa atrativa aos materiais tradicionais e tornam-se um interessante recurso sustentável como reforço ao cimento (Mantovani et al 2017). Seguindo os estudos de Bentchikou (2012), foram então selecionados alguns resíduos com fibras de celulose que poderiam apresentar os resultados desejados, sendo estes: papelão comum, papelão de caixa de ovo e papel termo sensível (procedente de notas fiscais).

### **Materiais e métodos**

O método de pesquisa utilizado foi o Experimento em laboratório. Os materiais básicos utilizados para as moldagens em laboratório dos corpos de prova foram:

- Água (Condições normais de temperatura e pressão);
- Areia (areia média comum, agregado miúdo em zona ótima segundo NBR7211:2005);
- Cimento (Cimento Portland composto com escória, tipo CP II E, segundo NBR11578:1991).

Os compósitos utilizados nesta pesquisa são provenientes da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis, CATAMARE, localizada no Boqueirão, Curitiba-PR. Assim por um convenio da Universidade Federal do Paraná e do GESIT – Grupo de Estudos em Inovação Tecnológica, os materiais foram selecionados. Entre metais, orgânicos, plásticos e vidros, os papéis e resíduos constituídos de fibras de celulose foram os escolhidos por apresentarem boa resposta quando introduzidos a corpos cimentícios (SHOKRICH et al 2015).

Entre eles, os compósitos com fibra de celulose escolhidos foram: papelão proveniente de caixas de ovo, papelão reciclado comum e papel termo sensível (procedentes de notas fiscais). Como podem ser observados na FIGURA 01.



FIGURA 01 – Da esquerda para a direita: papel termo sensível, papelão de caixa de ovo, papelão comum

FONTE: Os autores (2018)

As moldagens e ensaios foram realizadas no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal do Paraná (FIGURA 02). Assim, para as moldagens e testes para as argamassas de cimento com papel foram estabelecidos cinco (5) traços com diferentes agregados de fibra. Estas tendências de traços foram escolhidas por meio de um processo eliminatório levando em consideração os estudos de Ardanuy (2015), Pacheco (2010) e Savastano (2000).

CP	cimento	areia	água	papel	tipo de fibra
1	1	3	0,5	-	-
2	1	-	0,5	0,06	caixa de ovo
3	1	-	0,5	0,08	caixa de ovo
4	1	-	0,5	0,08	papelão
5	1	-	0,5	0,08	térmico

Tabela 01 - Traços testados em moldagem em laboratório

FONTE: Os autores (2018)

O experimento constituiu na elaboração de corpos de prova segundo a NBR5738:2003 item 4.1.2, para as moldagens e os testes de resistência a flexão e compressão seguiram a NBR13279:2005. Já os ensaios para a obtenção de resultados a respeito da absorção de água por capilaridade estavam de acordo com a NBR9779:1995. Desta forma, estabelecidos os meios, as argamassas de cimento com papel foram analisadas e comparadas.



FIGURA 02 – Laboratório de materiais e estruturas da UFPR

FONTE: Os autores (2018)

Para a elaboração dos corpos de prova, levantou-se a quantidade de material a ser coletado, e sua granulometria. Cortou-se a fibra de celulose e/ou de papel (oriunda de resíduos como por exemplo caixa de ovo, papel bancário e papelão) em grãos de aproximadamente 1x1 cm e na proporção de cada quilo de cimento adicionou-se 80g de papel. Entre os compósitos estudados, o papelão proveniente de caixa de ovo foi recortado à mão e tanto o papelão reciclado comum quanto o papel termo sensível provindo de papéis reciclados de notas fiscais foram picotado com o uso de uma picotadora de papel.

Com os materiais, então separados, moídos e em seu devido tamanho, foram pesados em balança analítica (de resolução de 0,1g). Para serem moldados, deixou-se os papéis de molho, em água, por no mínimo 30 minutos, onde a cada 80g de papel utilizou-se 500ml de água. Assim, foram adicionados a uma mistura de argamassa fresca (cimento seguindo a proporção de 1kg para 80g de papel e 500ml de água e/ou areia) em bateadeira de cimento. Após 5 minutos na bateadeira, a massa homogênea foi levada para compactação em moldes prismáticos 4 cm x 4 cm x 16 cm (NBR5738:2003 item 4.1.2) como demonstrado em FIGURA 03). Para a montagem dos moldes, foi aplicada uma fina camada de óleo mineral em suas faces internas para melhor remoção.

Durante a moldagem, o método usado para o adensamento foi manual através de haste metálica, segundo a NBR5738: 2003, item 7.4.1. O molde de área equivalente à 16cm<sup>2</sup> e altura de 40mm foi preenchido até 1/3 de seu volume inicial com a massa e então foram realizadas 25 batidas com o soquete. Repetiu-se o processo para mais 1/3 de seu volume e, ao ser preenchido com o último 1/3 a ser adensado, submeteu-se a uma nova sessão de batidas.

Os ensaios de determinação de resistência à tração na Flexão e na Compressão foram realizados quatorze e vinte e oito dias após a moldagem. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia em Argamassa (LATECA – UFPR) e seguiram a NBR13279:2005 itens 5.5.2, 6.4 e 6.5. Os resultados testes de laboratório foram expostos por meio de tabelas e gráficos Força (N) x Deformação (mm).



FIGURA 03 – Corpos de prova prismáticos

FONTE: Os autores (2018)

Os ensaios de capilaridade foram realizados com adaptações à Norma Brasileira - NBR 9779/2012 da ABNT. No experimento deste estudo não foram utilizados dessecador e estufa e os corpos de prova foram posicionados em um recipiente sem tampa. Além disso, as massas dos corpos de prova foram determinadas após 30 minutos, 1, 2, 3, 6 e 72 horas contadas a partir da colocação destes em contato com a água. Assim sendo, os corpos de prova, já identificados, permaneceram posicionados na cuba com água na altura de cinco milímetros de sua face lateral, como é possível observar na FIGURA 04. Após o tempo determinado em cada leitura, os corpos de prova foram retirados da cabine, enxugados com um pano seco e limpo, verificadas suas massas em uma balança de precisão e recolocados na cuba de molhagem onde permaneciam até o momento em que o procedimento se repetia. O processo foi realizado repetidamente até completar 72 horas desde o posicionamento dos corpos de prova na cuba com água.

Após a verificação de massa das 72 horas, procedeu-se à ruptura dos corpos de prova na prensa no sentido médio transversal para a visualização do avanço da faixa úmida no interior do CP. Assim, após a ruptura, foi realizada a mensuração das faixas secas no interior dos corpos de prova com a utilização de um paquímetro, tomando medidas nas extremidades e no centro da seção transversal de cada CP para analisar a absorção de água pelo seu interior. Por fim foi realizada a análise dos resultados obtidos nos testes para a avaliar as características de absorção por capilaridade dos novos compósitos propostos para uso na construção civil.



FIGURA 04 – Corpos de prova posicionados em recipiente com 5 mm de água

FONTE: Os autores (2018)

### Resultados e discussão

Dependendo da função desejada ao compósito, busca-se identificar diferentes propriedades básicas, como a resistência à compressão, à tração na flexão e a absorção de água por capilaridade. Assim, os resultados obtidos em testes foram analisados para uma possível aplicação em placas para vedação horizontal sem função estrutural. Todos os valores a seguir, foram obtidos com 28 dias de cura (em câmara seca à 25 graus Celsius com umidificador).

Os resultados dos testes físicos e mecânicos dos diferentes traços elaborados são mostrados na Tabela 02. Para facilitar a demonstração, os dados foram separados em compressão e flexão.

CP	Tipo de fibra	Compressão		Flexão	
		Força máxima (N)	Tensão máxima (Mpa)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (Mpa)
1	Sem fibras, padrão	57188,5	35,74	3202	7,5
2	Caixa de ovo (60g)	39767	24,855	2815	6,68
3	Caixa de ovo (80g)	26816	16,76	2478	5,81
4	Papelão comum	11221	7,01	1088	2,55
5	Papel termo sensível	20679	12,92	2465	5,78

Tabela 02 – Resultados dos testes de compressão e resistência à tração na flexão

FONTE: Os autores (2019)

De certo modo, todos os corpos de prova com incorporações de fibras de celulose apresentaram uma diminuição em resistência à compressão quando comparados com o CP1 (padrão, composto por cimento, areia e água). Assim é verificado que, assim como confirma Ardanuy (2015), a força máxima de compressão diminui com o aumento de fibras. E, este acréscimo leva a deixar o material mais dúctil e leve (BETCHIKOU, 2012).

Argumento válido também para os ensaios de flexão, tendo como destaque o CP2, que leva apenas 60g de resíduo (papelão de caixa de ovo) para cada 1kg de cimento e 0,5l de água. Este teve uma redução em sua resistência mecânica de aproximadamente 10%, quando comparado ao CP1 (padrão), divergindo dos outros corpos de prova que reduziram de aproximadamente 23 a 66%. O CP2 também apresentou uma redução na força máxima aplicada de flexão de cerca de 12%, significativa também quando comparado aos outros elementos do experimento.

Pacheco-Torgal (2010) aponta que: “o uso moderado de fibras naturais ou de celulose trazem melhorias nas propriedades mecânicas e na resistência ao impacto do concreto. Podendo ser de 3 a 18 vezes mais resistente do que o concreto sem a inclusão das fibras.” Contudo, é visível que quando alterado o traço favorecendo a inserção de resíduos a resistência volta a cair, não representando melhorias no material

Como pode-se visualizar na FIGURA 05, as fibras foram dispersas de forma naturalmente heterogênea pela matriz, dificultando processos típicos dos corpos de prova, como a segregação e a exsudação. Este padrão foi seguido pelos outros três corpos de prova com resíduos.



FIGURA 05 – Corpo de prova com compósito de caixa de ovo após teste de flexão

FONTE: Os autores (2018)

Outra problemática de tais compósitos é a durabilidade, visto que a inclusão de tais rejeitos afeta de forma significativa sua resistência a compressão. Também pode-se observar que houve uma diminuição de volume dos corpos de prova, por conterem menos componentes com propriedades cimentícias que uma argamassa comum, e conseqüentemente perde propriedades de endurecimento da pasta, fazendo com que seja necessário a adição de mais água para misturar os componentes. É possível concluir que para ser mais durável, a argamassa pode ser melhorada com a inserção de adições ou o refinamento dos agregados (ARDANUY, 2015).

### 5.1 testes de absorção por capilaridade

Quanto aos ensaios de absorção por capilaridade, foram escolhidos para participar do experimento os corpos de prova CP1 (padrão) e os CP3 (caixa de ovo), CP4 (papelão) e CP5 (papel termo sensível) por conterem a mesma quantidade de resíduos em sua composição (80g cada) e serem mais facilmente comparáveis. Têm-se, então na Tabela 03, as massas, em gramas, de cada corpo de prova nos momentos em que essas foram verificadas. O tempo zero representa o momento inicial em que os materiais foram pesados, ainda secos. Após isso, os tempos 30 minutos, 1, 2, 3, 6 e 72 horas retratam os períodos em que foram verificados os acréscimos de massa dos corpos de prova após serem posicionados na cuba de imersão.

0h                    0,5                    1h                    2h                    3h                    6h                    72h

		h								
P1	C 06	530, 84	533, 83	534, 53	536, 15	537, 93	539, 98	545, 98	545, 98	545, 98
P3	C 19	370, 93	392, 67	394, 6	397, 92	399, 56	404, 91	422, 91	422, 91	422, 91
P4	C 22	339, 3	374, 31	386, 14	404, 48	415, 42	419, 1	427, 1	427, 1	427, 1
P5	C 79	321, 41	342, 37	346, 07	351, 29	354, 08	360, 04	381, 04	381, 04	381, 04

Tabela 03 - Medidas das massas (g) dos corpos de prova em cada tempo determinado (h)

FONTE: Os autores (2019)

Fazendo a análise dos resultados em porcentagem de incorporação de água por capilaridade de cada corpo de prova em massa, pode-se notar que o CP1, corpo de prova de referência neste estudo, teve uma incorporação de massa de apenas 3%, enquanto os demais tiveram, no mínimo 14,24%, como é o caso do corpo de prova constituído de papelão proveniente de caixa de ovo, CP3. Os corpos de prova CP4 (papelão) e CP5 (papel termo sensível), tiveram, respectivamente, 25,9% e 18,41% de incorporação de massa, números elevados, se comparado aos demais.

Entretanto, de acordo com a NBR 9779 (ABNT,2012), os corpos de prova que sofreram saturação devem ter suas hipóteses descartadas, uma vez que se tornam impróprios para o uso tendo sido inteiramente preenchidos com água. Ao observar os dados, podemos constatar que, neste experimento, o corpo de prova CP4, compósito de papelão comum, sofreu saturação e, assim, a hipótese sobre a utilização desse compósito foi excluída.

Após a verificação dos corpos de prova que sofreram saturação, foi feita a determinação o índice de absorção de água por capilaridade propriamente dito. O cálculo da absorção de água por capilaridade em corpos de prova, segundo a NBR 9779 (ABNT, 2012), calculado pela equação 1.

$$C = \frac{A-B}{S} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde C é a absorção de água por capilaridade [g/cm<sup>2</sup>], A é a massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado [g], B é a massa do corpo de prova no instante zero, ou seja, antes de que esse fosse colocado em contato com a água [g] e S é área da seção transversal do corpo de prova [cm<sup>2</sup>]. Usando essa equação e sabendo que o CP4 foi retirado dessa análise por ter chegado ao estado de 100% de saturação e que as dimensões dos corpos de prova, anteriormente citadas são 4 x 4 x 16 cm<sup>3</sup>, sendo a área de seção transversal dos corpos de prova de 16 cm<sup>2</sup>. A Tabela 04 contém a absorção de água por capilaridade de CP1, CP3 e CP5 expressa em g/cm<sup>2</sup> para cada tempo contabilizado após o posicionamento dos corpos de prova na cuba com água.

			0,5h		1h		2h		3h		6h		72h
1	CP	25	0,236	25	0,2981	75	0,4043	25	0,4431	75	0,6168	25	0,995
3	CP	25	1,421	25	1,53	25	1,7131	25	1,8581	25	2,1481	25	3,295
5	CP	75	1,288	5	1,5362	5	1,83	5	2,0312	25	2,3931	25	3,7031

Tabela 04 – Absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) em cada tempo determinado (h)

FONTE: Os autores (2019)

Na representação gráfica dos resultados (FIGURA 06) é possível observar, que o CP1, corpo de prova padrão constituído conforme as proporções indicadas no traço 1:3 (cimento, areia) com relação água/cimento igual a 0,5 indicado na Tabela 04, obteve menor absorção de água por capilaridade, enquanto que os compósitos de fibras de celulose obtiveram resultados superiores, e com uma significativa diferença de  $2,3\text{g}/\text{cm}^2$  (corpo de prova de caixa de ovo) e  $2,7\text{g}/\text{cm}^2$  (papel termo sensível) de absorção entre eles no tempo final, de 72 horas.

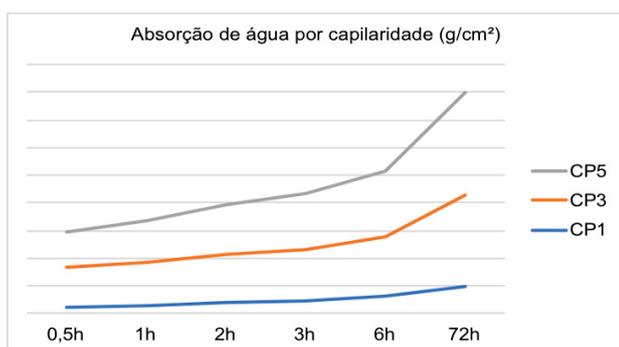


FIGURA 06 - Medidas de absorção de água por capilaridade em  $\text{g}/\text{cm}^2$  para cada tempo determinado após o contato dos corpos de prova cp1 com a água

FONTE: Os autores (2019)

Na análise foi possível verificar também que, considerando que as densidades dos corpos de prova de caixas de ovo e papel termo sensível são ligeiramente diferentes e que suas massas de fibras de celulose não distinguem, a diferença do coeficiente de absorção de água por capilaridade e a medida da faixa seca existente nos corpos de prova CP3 e CP5 é muito semelhante. Porém, observando estas mesmas características citadas, o CP3 apresenta um desempenho um pouco melhor no que se refere à absorção de água por capilaridade.

Em decorrência dos testes realizados, foi possível verificar que os compósitos constituídos de papelão comum não são estruturalmente viáveis para este projeto, visto que sofreram saturação hídrica e perderam a estabilidade para a fabricação dos painéis, portanto, foram descartados.

Em contrapartida, nas análises referentes ao índice de absorção de água por capilaridade e também a medida dos tamanhos de faixa seca dos corpos de prova restantes, além do corpo de prova de cimento e areia, o corpo de prova adicionado de fibras de celulose de papel termo sensível apresentou o melhor desempenho no que diz respeito ao transporte de água no interior do material entre os outros compósitos.

### Considerações finais

Os compósitos desenvolvidos a partir de fibras de celulose provenientes de caixa de ovo e de papel termo sensível suprem tanto as necessidades técnicas, referentes as propriedades mecânicas, quanto sociais, visto que a inclusão de materiais e métodos sustentáveis se fez presente. O compósito que teve em sua composição melhor resultado geral foi o papel proveniente de caixa de ovo e mais satisfatório tanto nos ensaios mecânicos quanto nos de absorção por capilaridade. Contudo, vale ressaltar que bons resultados dependem de sua granulometria, homogeneidade e densidade. A quantidade de água também é crucial, por isso é indicado usar o valor padrão.

Conclui-se que é possível usar os resíduos sólidos para elaboração de compósitos na área de construção civil. A criação de novos produtos através de resíduos trará mudanças na sociedade e no meio ambiente, evitando assim a geração de resíduos excessiva. E, por conseguinte, atenderia a demanda relatada da construção de habitações populares. Adequando assim a necessidade de desenvolvimento com o reaproveitamento de rejeitos. O estudo será, então, continuado objetivando a moldagem e fabricação de tais elementos, iniciando com vedações horizontais, mais especificamente placas de revestimento (sem função estrutural).

### Referências

- ABRECON - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil. Disponível online em: << <https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>>>. Acesso em: 25/03/2019.
- ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research. *Construction and Building Materials*, 79. Março de 2015, p155+.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro. 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005.
- BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. Use of select waste materials in concrete mixes. *Waste Management*, v.27, p.1870-1876, 2007.
- BENTCHIKOU, M., GUIDOUM, A., SCRIVENER, K., SILHADI, K., HANINI, S. Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweigt cement composite matrix. *Construction and Building Materials* 34.1 p451. 2012.
- CARNITATTO, I., MUELLER, J. M., GALLEGO, R. C. A utilização da compostagem na escola como eixo norteador no ensino de ciências. Atas do Evento Os Estágios Supervisionados de Ciências e Biologia em Debate II. Unioeste 2010.
- DHAKAL, H. N., ZHANG, Z. Y., RICHARDSON, M. O. W. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fiber reinforced unsaturated polyester composites. *Composites Science and Technology*, 67: 1674–1683. 2007.
- LUCAS, D., BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na Construção Civil. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n.3, p. 405-418, ISSN 1981-9951. 2008.

- MANTOVANI, D. P., ROHEN, L. A, NEVES, A. C. C, VIEIRA, J. S., PONTES, L. A. P., VIEIRA, C. M. F., MARGEM, F. M E MONTEIRO, S. N. Comparative Analysis of the Tensile Properties of Polyester to Epoxy Matrixes Composites Reinforced with Hemp Fibers. 6th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production – Academic Work. 2017.
- MOURA, J. M. B. M., MATOS, L. F. S. Placas cimentíceas à base de resíduo sólidos domiciliares. REA - Revista de estudos ambientais (Online) v.17, n. 1, p. 54 - 63. 2015.
- PACHECO-TORGAL, F., JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibers: A review. Construction and Building Materials 2010, doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024
- RAO, M. C., BHATTACHARYYA, S. K., BARAI, S. V. Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load. Construction and Building Materials 25.1, p.69. 2011.
- SANTOS, M. R., TEIXEIRA, C. E., KNISS, C. T. Avaliação de Desempenho Ambiental na Valorização de Resíduos Sólidos de Processos Industriais. Revista Adm. UFSM, Santa Maria, v7, Edição Especial, p.75-92. 2014.
- SAVASTANO JR, H., WARDEN, P. G., COUTTUS, R.S.P. Brazilian waste fibers as reinforcement for cement-based composites. Cement & Concrete Composites, v22, p397-384. 2000.
- SGRICCIA, N., HAWLEY, M. C., MISRA, M. Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. Composites: Part A; 39: 1632–1637. 2008.
- SHOKRICH, M. M., MACHMOUDI, A., SHADKAM, H.R. Hybrid Polyvinylalcohol and Celulose Fiber Pulp Instead of Asbestos Fibers in Cement-Based Composites. Mechanics of Composite Materials, Vol. 51 No2. 2015.
- SOARES, L. G. C., SALGUEIRO, A. A., GAZINEU, M. H. P. Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco - Um estudo de caso. Revista Ciências & Tecnologia, ano 1, n1, julho-dezembro 2007.
- TAM, V. W. Y., SOOMRO, M., EVANGELISTA, A. C. J. A Review of Recycled Aggregate in Concrete Applications. Construction and Building Materials 172, p.272-292. 2018.
- WIEMES, L., PAWLOWSKY, U., MYMRIN, V. Incorporação de Resíduos Industriais no Tijolo. 5th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production - Academic Work. 2015
- WOLFF, E., SCHWABE, W. K., CONCEIÇÃO, S.V., SANTANNA-GRECO, J. A., GRECO, M., MACHADO, R.R. Using mathematical methods for designing optimal mixtures for building bricks prepared by solid industrial waste. Springer-Verlag, published online, June 2016.

- c) Desenvolvimento de Argamassa Cimentícia usando resíduos sólidos: Determinação do módulo de elasticidade a partir do ensaio de determinação da velocidade de onda ultrassônica

**Janilce Negrão, Jardel Attilio Pasquali, Adriana de Paula Lacerda Santos, Nicolle Sotsek, Marcell Mariano Maceno**

**Resumo:** O objetivo da pesquisa é desenvolver novos produtos a partir de resíduos sólidos que serão descartados e que de alguma forma possam implementar, melhorar ou adicionar novas características e aplicações distintas a outros produtos. Neste contexto, este artigo apresenta os resultados obtidos em laboratório referente ao estudo de painéis que farão parte da unidade habitacional foco da pesquisa. Foram produzidas em laboratório argamassas de cimento + água + resíduo a fim de determinar o módulo de elasticidade de cada mistura visando identificar qual deles é mais interessante ser usado para a construção de painéis que possam ser usados na fabricação das casas populares. O método de pesquisa utilizado foi o experimento. Nas misturas realizadas foram usados resíduos de plástico, de madeira e de papelão. Foram construídos cinco conjuntos de três corpos de provas medindo 4x4x16cm e estes foram submetidos ao ensaio de velocidade de onda ultrassônica no 14º dia. Para a elaboração deste ensaio foi usado as normas ASTM C597-09 e a ABNT NBR 8802:2013 o. O ensaio realizado foi o não destrutivo, usado para conhecer o módulo de elasticidade dinâmica da mistura e seu comportamento. Os resultados obtidos apontam que a mistura de resíduos de papelão foi a melhor, principalmente por apresentar uma mistura com aspecto homogêneo, uniformidade e menor de número de vazios no corpo de prova, o que fez resultar uma maior resistência da mistura de papelão em relação aos outros materiais.

**Palavras-chave:** Argamassa, Módulo de elasticidade, Ultrassom.

### **Development of Cement Mortar using solid waste: Determination of modulus of elasticity from the ultrasonic wave velocity test**

**Abstract:** The objective of the research is to develop new products from solid waste that will be discarded and that can somehow implement, improve or add new distinctive features and applications to other products. In this context, this article presents the results obtained in the laboratory regarding the study of panels that will be part of the research housing focus. Cement mortar + water + residue were produced in the laboratory to determine the modulus of elasticity of each mixture in order to identify which one is most interesting to be used for the construction of panels that can be used in the fabrication of popular houses. The research method used was the experiment. The mixtures used were plastic, wood and cardboard waste. Five sets of three specimens measuring 4x4x16cm were built and subjected to the ultrasonic wave velocity test on day 14. For the preparation of this test, the ASTM C597-09 and ABNT NBR 8802: 2013 o standards were used. The nondestructive test was used to know the dynamic modulus of elasticity of the mixture and its behavior. The results show that the cardboard waste mixture was the best, mainly because it had a mixture with homogeneous appearance, uniformity and smaller number of voids in the specimen, which resulted in a greater resistance of the cardboard mixture in relation to other materials.

**Keywords:** Mortar, Modulus of elasticity, Ultrasound

## **1. Introdução**

Segundo Logarezzi (2003), define que lixo e resíduos são de certa forma distintos embora muitas vezes serem tratados da mesma forma. Primeiramente resíduos são restos ou sobras provenientes de atividades de pessoas que podem ser recicladas, já o vulgarmente nomeado lixo é o que mesmo após a reciclagem acaba sobrando e conseqüentemente é descartado sem nenhum uso. Acabamos associando o primeiro com valores sociais, econômicos e ambientais, no sentido que o segundo não tem seus potenciais aproveitados.

Infelizmente no Brasil, a desigualdade social ainda é muito predominante perante a sociedade. De acordo com o IBGE ((Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2017 cerca de 50 milhões de brasileiros, o equivalente a 25,4% da população, vivem na linha de pobreza e têm renda familiar equivalente a R\$ 387,07 – ou US\$ 5,5 por dia. Além disso inúmeros indicadores demonstram a profunda desigualdade que afeta o país em todos os níveis (cor, gênero, região, escolaridade, etc) mesmo quando comparado a outras nações da América Latina, região onde a desigualdade é ainda mais acentuada. Quando as oportunidades profissionais assalariadas são escassas, algumas famílias recorrem a coleta de resíduos sólidos como alumínio, papelão, plástico e outros materiais para o seu sustento, algumas pessoas trabalham individualmente e outras acabam se agrupando assim criando associações ou cooperativas de coleta seletiva. Em panorama geral, cooperativas são empresas formadas por trabalhadores (produtores ou consumidores) em favor dos diversos interesses econômicos e sociais dos trabalhadores. São empreendimentos econômicos sem fins lucrativos, que visam a satisfação das necessidades econômicas dos trabalhadores, produtores ou consumidores, que são seus cooperados. Ou seja, cooperativas de reciclagem desenvolvem o processo de tratamento dos materiais recicláveis e os enviam às empresas recicladoras buscando gerar renda para os catadores.

Segundo Chikarmane (2009), os coletores de resíduos recicláveis têm um papel importante nos países em desenvolvimento. Dentre os benefícios que resultam da coleta, separação e reciclagem dos resíduos, além da geração de renda e inclusão social dos trabalhadores envolvidos, pode-se citar: a contribuição à saúde pública e ao sistema de saneamento; o fornecimento de material reciclável de baixo custo à indústria; a redução nos gastos municipais e a contribuição à sustentabilidade do meio ambiente, tanto pela diminuição da matéria-prima primária utilizada, que conserva recursos e energia, tanto pela diminuição da necessidade de terrenos a serem utilizados como lixões e aterros sanitários. Nem sempre as cooperativas têm instruções de trabalho apropriadas, em certas ocasiões o ambiente de trabalho chega a ser insalubre e trazendo riscos à saúde do coletor, pois devido à falta de políticas públicas eficiente, os resíduos domésticos que chega até as cooperativas não é devidamente separado o que faz com que alguns trabalhadores entrem em contato com produtos perigosos e contaminantes.

O desenvolvimento sustentável e seus pilares é muito discutido no mundo atualmente, a preocupação com meio ambiente, a melhor utilização dos recursos e o não desperdício são temas que exaustivamente são pregados a fim de que a sociedade como um todo repense a forma que vive para causar menor impacto possível. Por isso pesquisas e tecnologias referentes a resíduos que seriam descartados são tão importantes, com isso o presente estudo desta pesquisa é se envolver diretamente com o desenvolvimento de produtos, compósitos ou quaisquer elementos oriundos de resíduos sólidos. Foi destinado um período de tempo as pesquisas científicas com o propósito de estabelecer métricas, embasamento teórico e criatividade. Ficou definido de que o produto a ser desenvolvido será um bloco de concreto ou placa cimentícia. Material que é constituído por água, aglomerante (cimento) e partículas aglutinadas (geralmente areia), no entanto a ideia primária é retirar o uso da areia e substituir por outro elemento como, por exemplo a serragem de madeira, plástico, papelão e papel. O intuito é criar painéis de cimento com custo reduzido, de fácil montagem, com atributos melhorados. O interesse é que os próprios catadores ou seletores desses materiais possam elaborar tais produtos para uso

próprio até mesmo para possível venda, o que sem dúvidas incrementaria na renda financeira do mesmo. O compósito passará por alguns testes em laboratório para comprovar as suas propriedades e viabilidade, sendo que se dará uma maior atenção ao método de ensaio não destrutivo por ultrassom.

## **2. Revisão da literatura**

No Brasil, 72,25% das florestas exóticas plantadas estão em regiões Sul e Sudeste. Há 6,66 milhões de hectares plantados no país, sendo 76,6% do Eucalipto e 23,4% de Pinus (ABRAF, 2013). O consumo de madeira serrada sofreu um aumento no Brasil nos últimos anos, atingindo 9,2 milhões de m<sup>3</sup> em 2012, devido à elevação do consumo da matéria prima pelo mercado interno, impulsionado juntamente com a indústria da construção civil e de embalagens (ABRAF, 2013), o que provoca uma quantidade enorme de sobras como serragem, papel descartado e outros produtos provenientes da madeira. As espécies Pinus e Eucalipto são as espécies de árvores de corte mais abundantes na região sul e no território brasileiro como um todo. Essas duas espécies são de outras regiões do mundo, mas que se adaptaram bem ao clima e solo do brasileiro, sendo que são os principais tipos de árvore para a produção de madeira pois apresentam boas características e custo reduzido.

De acordo com Semple e Evans (2004) e Moslemi (1989; 1993), todos os elementos produzidos a partir de madeira e cimento demonstrou uma série de vantagens, entre elas: grande disponibilidade de estoque, de baixo peso específico, de baixa permeabilidade, capacidade de ser serrado, e adequabilidade para parafuso de fixação e acabamento exterior, tais como tintas, etc. Tais aspectos permitem seu uso na produção de painéis de vedação, em unidades de alvenarias, forro e outros. O principal obstáculo para a produção compósitos de madeira-cimento, é a incompatibilidade entre o cimento e a madeira, porque alguns produtos químicos solúveis de madeira são encontrados para impedir ou parar a hidratação do cimento quando eles são atacados pelo ambiente alcalino e difundem-se para o cimento colar, que resulta na menor resistência mecânica dos compósitos de madeira-cimento em comparação com o cimento puro (ZHENG TIAN e MOSLEMI, 1986; THOMAS e BIRCHALL, 1983). O uso de um tratamento simples e barato representa uma maneira de melhorar a compatibilidade do cimento quando espécies incompatíveis estão presentes, por isso se tem grande intuito a utilização de aditivos químicos para diminuir a quantidade água necessária para a produção de materiais com cimento e também para melhorar a compatibilidade entre concreto e materiais agregados como a serragem de madeira.

### **2.1. Cimento e concreto**

Basicamente o cimento é formado por uma mistura de clínquer (elemento oriundo da calcinação de calcário, argila e componentes químicos), gesso e adições tendo como resultado um aglomerante hidráulico que quando em contato com o ar, endurece, possibilitando dessa forma, a estruturação de obras em geral (ABCP, 2012). Existem no Brasil cerca de cinco tipos básicos de cimento e três especiais. Embora todos sejam indicados para uso geral na construção civil, há diferenças entre eles, com isso sempre é importante conhecer bem as características e propriedades, ligadas a cada tipo, para que seja usada o melhor tipo cimento para determinada aplicação.

O material mais usado na construção civil é o concreto, normalmente feito com a mistura de cimento Portland com areia, pedra e água (METHA & MONTEIRO, 1994). Podem-se listar vantagens do concreto em relação com outros materiais como resistência à água, a obtenção de diversas formas e tamanhos por elementos estruturais feitos de concreto e seu baixo custo podendo, inclusive, ser fabricado no local da obra. De fato, a dosagem dos elementos que compõem o concreto ou argamassa define a suas propriedades e aplicações, o que o mesmo nos permite ter uma infinidade combinações, proporções, permitindo o uso de materiais inovadores em certos momentos como o plástico e a madeira e diversos métodos para estudá-lo. Com o

aumento da complexidade das construções, exige-se cada vez mais a qualidade dos materiais e sua composição, com ensaios e testes a fim de prevenir qualquer problema futuro e almejar sempre um produto mais rentável. O objetivo de conhecer as características dos materiais é que têm grande influência no processo de dosagem do concreto (HELENE e TERZIAN, 1993).

## **2.2. Poliestireno expandido (EPS) e Papelão**

A espuma de poliestireno expandido possui estrutura obtida por meio da expansão do poliestireno (PS). No Brasil, o EPS é mais conhecido como Isopor®, marca registrada da empresa Knauf Isopor® Ltda. O EPS geralmente é utilizado como isolante térmico em edificações, permitindo a economia energética durante a vida útil do edifício, energia esta que pode ser centenas de vezes superiores à energia consumida durante o processo de fabricação. Esta economia de energia contribui para a preservação dos recursos energéticos, reduzindo a emissão dos gases poluentes e dos gases que contribuem para o efeito estufa sobre a atmosfera. (EPS Packaging Organization, 2008). A maioria dos produtos de consumo como eletrodomésticos e produtos eletrônicos não são projetados para resistir ao choque e vibrações produzidas durante o armazenamento, transporte e manuseio. Um dos materiais mais amplamente utilizados para a embalagem protetora destes bens é a espuma de poliestireno expandido (EPS). Sendo preferencialmente utilizado como embalagem, o EPS tem um ciclo de vida curto, pois como outros plásticos, o EPS não é biodegradável (EPS Packaging Organization, 2008). Já o papelão é um tipo mais grosso e resistente de papel, muito utilizado na fabricação de caixas para produtos, podendo ser liso ou enrugado. É produzido dos papéis compostos das fibras da celulose, que são virgens ou reciclados. Geralmente as caixas de ovos são feitas de papelão reciclável e no final do seu uso é descartada pois a sua reciclagem é limitada pelo fato de não ser um material virgem e já estar com as fibras celulósicas comprometidas assim impossibilitando sofrer mais um processo de reciclagem. De acordo com (FERGUNSON, 1992), o papel pode ser reciclado de seis a dez vezes, o que demonstra a capacidade do prolongamento do ciclo de vida deste produto.

## **2.3. Módulo de elasticidade**

O módulo de elasticidade é um fator muito importante para métodos de ensaios e previsão do comportamento do concreto ou argamassa para aplicação em estruturas, projetos, casas ou até mesmo para estudo de comparações. Definir o módulo de elasticidade correto nos permite conhecer qual é a utilização de determinada quantidade da relação água/cimento, agregados e outros materiais que interferem nas características como resistência, rigidez e capilaridade. Segundo Melo Neto (2002), a determinação do módulo de elasticidade do concreto é, de modo geral, mais complexa em relação à determinação da sua resistência à compressão pois grande parte dos projetos estruturais usa um valor de elasticidade encontrada em equações que muitas normas citam, tomando como variável a resistência à compressão. As deformações reversíveis ocorridas em corpo que sofre tensões são denominadas deformações plásticas, sendo que quando tensão finaliza o corpo em si retorna a sua forma inicial. É uma característica muito comum dos materiais sólidos. Considerando-se que a deformação seja proporcional à tensão aplicada (Lei de Hooke) a razão entre tensão e deformação é definida como módulo de elasticidade ou módulo de Young. O concreto e a argamassa apresentam um aspecto visco elástico devido principalmente aos seus constituintes, com isso com o comportamento não linear demonstra de forma distinta dos materiais homogêneos que não segue a lei de Hooke, ou seja, nem sempre apresenta proporcionalidade (não é linear) entre tensão aplicada e a deformação específica resultante.

Já que não é viável a aplicação da Lei de Hooke de forma direta para materiais com o comportamento não linear, temos a possibilidade para determinação experimental do módulo de Young por meio da realização de ensaios dinâmicos.

No caso do concreto ou argamassa, ambos sugerem diversas discussões em relação ao módulo de elasticidade, mas de forma geral por serem formados através de vários constituintes

como cimento, agregados, água e outros acabam apresentando aspectos de um material heterogêneo com fração variada de seus componentes cada um de acordo com sua finalidade, assim como a massa específica, além disso outros fatores também interferem no módulo de elasticidade.

Devido à não linearidade da curva tensão-deformação do concreto, são definidos pelo menos três tipos de módulos de elasticidade, resumidos por Helene (1998) e Mehta e Monteiro (2014):

a) Módulo de elasticidade tangente inicial: é o módulo de deformação, estático e instantâneo para uma linha tangente à curva tensão-deformação traçada a partir da origem. Corresponde ao módulo de elasticidade cordal entre 0,5 MPa e 0,3 $f_c$  e ao módulo de elasticidade secante a 0,3  $f_c$ . É utilizado quando se requer caracterizar deformações do concreto submetido a tensões muito baixas.

b) Módulo de elasticidade secante: é o módulo de deformação estático e instantâneo, dado pela declividade de uma linha traçada da origem até qualquer porcentagem de  $f_c$ . Geralmente recomenda-se trabalhar com o módulo de elasticidade secante a 0,4 $f_c$ , que equivale ao módulo cordal entre 0,5 MPa e 0,4 $f_c$ .

c) Módulo de elasticidade cordal: é o módulo de deformação, estático e instantâneo, dado pela inclinação de uma linha traçada em qualquer intervalo da curva tensão-deformação.

### 3. Métodos experimentais de elasticidade

Para definição do módulo de elasticidade temos dois métodos experimentais: o estático e o dinâmico, que são realizados por ensaios destrutivos ou não destrutivos. Ambos normalizados pela ABNT e também por normas provenientes de outros países.

A técnica de velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos através do material baseia-se na relação estabelecida por Rayleigh entre a velocidade de propagação do som em determinada amostra, sua massa específica e suas características elásticas (Malhotra e Sivasundaram, 1991). O método é amplamente utilizado para analisar o estado da estrutura de concretos, como pontes, barragens, túneis, etc., devido ao fato de ser uma técnica não destrutiva, que já vem sendo utilizada há mais de 40 anos nas investigações de materiais à base de cimento (MATUSINOVIC et al, 2004; YE et al, 2004).

De acordo ASTM C597-09 o método de ensaio de determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica em corpos de prova de concreto e argamassa é usado para analisar a uniformidade e a qualidade relativa do material e indicar a presença de vazios. As ondas longitudinais com frequências que variam de 20KHz a 150KHz. Apenas em setembro de 2008, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 15630, que estabelece os procedimentos de ensaios para determinação do módulo de elasticidade dinâmico por meio da propagação de onda ultrassônica para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Esta norma é muito parecida com a da norma britânica BS – 1881 parte 203 (1986), utilizando a equação 1:

$$E_d = \rho \cdot V^2 \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$\rho$  = densidade de massa no estado endurecido do concreto (kg/m<sup>3</sup>);

$V$  = velocidade que a propagação da onda (em km/s);

$\nu$  = coeficiente de Poisson. Esse coeficiente pode variar entre 0,10 a 0,20.

O ensaio não destrutivo é obtido através da equação 2:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ (km / s)} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$\Delta s$ : É a altura de corpo do prova (em km);

$\Delta t$  : O tempo que a onda se propaga (em s).

Com isso calcula-se a velocidade de propagação da onda ultrassônica obtida através do equipamento PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), que possui frequência de 54 khz (FIGURA 1).



FIGURA 1: Equipamento usado no método de ultrassom

No Brasil, ainda não existe norma para determinar o módulo de elasticidade dinâmico do concreto. Porém, a ABNT NBR 8802 (2013) estabelece o método de ensaio não destrutivo para determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, contudo, algumas normas internacionais prescrevem tais procedimentos há um bom tempo.

Quadro 1: Procedimentos e normas para ensaio de ultrassom (Evangelista, 2002; Benetti, 2012).

Parâmetro	Normas			
	NM58/1996 ABNT NBR8802:2013	RILEM NDT1/1972	BS1881: Part 203:1986	ASTM C597/1983
Frequência de Ultrassom	Acima de 20KHz	20 a 200KHz	20 KHz a 150 KHz	10 KHz a 150 KHz
Superfície	Seca ao ar, limpa e plana	Plana	Seca ao ar, limpa e plana	Seca ao ar, limpa e plana
Área de ensaio para verificar os elementos estruturais grandes	1m <sup>2</sup>	-	-	-
Distância entre os transdutores	Precisão de + 1%	Precisão de + 1%	Precisão de + 1%	Precisão de + 0,5%
Medições de velocidade	Precisão de + 1%		Precisão de + 0,5%	Precisão de + 0,5%

#### 4. Método de Pesquisa

O método de pesquisa utilizado foi o experimental, através de ensaios laboratoriais com simulação das situações no qual o compósito seria usado de acordo com as normas

estabelecidas. Além da busca na literatura de pesquisas já realizadas e suas aplicações. Cada etapa da FIGURA 2 revela os procedimentos definidos ao longo da pesquisa a fim de buscar o melhor resultado e sua validação.

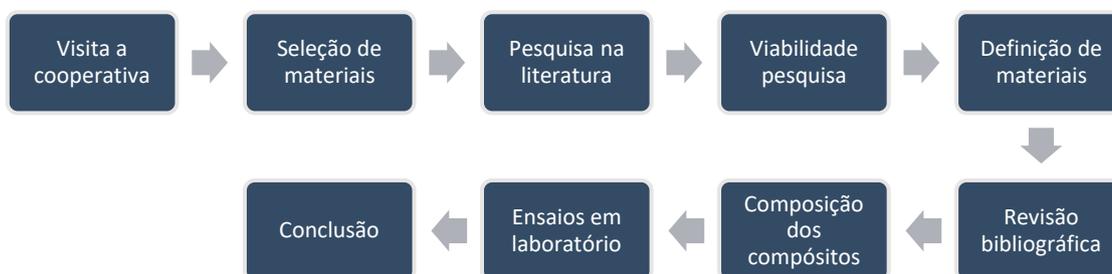


FIGURA 2: Fluxograma das etapas da pesquisa

#### 4.1. Procedimento experimental

A fabricação e as análises dos materiais compósitos obtidos foram realizadas no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) localizado na Universidade Federal do Paraná, campus centro politécnico -Curitiba PR. Os materiais utilizados nos procedimentos foram o papelão (caixa de ovo), isopor e serragem de madeira. Os materiais foram coletados na cooperativa de recicláveis CATAMARE, sendo que a preparação deles para produção dos corpos de provas para os ensaios foram as seguintes: o papelão (caixa de ovo) foi recortado manualmente depois triturado na bateadeira; o isopor foi colocado em um triturador até chegar nos menores pedaços do material e depois peneirado com uma peneira granulométrica de 2,45 mm; a serragem de madeira já foi coletado cortada. A quantidade de cimento e água seguiram o padrão de referência e apenas a quantidade dos agregados foram variando ao longo do experimento, foram preparadas as misturas em uma bateadeira tradicional até apresentarem aspecto homogêneo. Os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de provas seguiram a NBR 5738: 2015, tais quantidade dos materiais para a elaboração dos corpos de provas podem ser verificadas no Quadro 2.

Após o tempo necessário de cura, os corpos de provas foram preparados para a realizados dos ensaios em laboratório. A determinação da resistência a compressão do concreto foi determinada de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). A velocidade de propagação da onda ultrassônica foi determinada nos corpos de prova prismáticos antes dos mesmos serem preparados para o ensaio de resistência à compressão. Para a determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica utilizou-se o Aparelho de Ultrassom Portátil Digital (PUNDIT LAB), com transdutores calibrados em 54 kHz e diâmetro de 50mm. O procedimento adotado foi o da ASTM C597-09 juntamente com NBR 8802 (ABNT, 2013), empregando a transmissão direta entre os transdutores. A calibração do equipamento foi realizada antes de cada ensaio empregando-se uma barra cilíndrica padrão ( $d=50\text{mm}$  e  $h=160\text{mm}$ ).

RELAÇÃO DE MATERIAIS USADOS	
C1	<b>Materiais</b> : Cimento + areia + água
	<b>Traço</b> : 1:3:0,5
	<b>Quantidade (g)</b> : 600 g de cimento + 1800 g de areia + 300g de água
C2	<b>Materiais</b> : Cimento + isopor + areia + água
	<b>Traço</b> : 1:0,03:2,8:0,6
	<b>Quantidade(g)</b> : 500g de cimento + 15g de isopor + 1400g de areia + 300g de água
C3	<b>Materiais</b> : Cimento + pinus + plastificante + água
	<b>Traço</b> : 1000g de cimento + 280g de pinus + 6g de plastificante + 600g de água
	<b>Quantidade (g)</b> : 600 g de cimento + 1800 g de areia + 300g de água
C4	<b>Materiais</b> : Cimento + caixa de ovo + água
	<b>Traço</b> : 1:0,05:0,5
	<b>Quantidade (g)</b> : 1000g de cimento + 50g de caixa de ovo + 500g de água
C5	<b>Materiais</b> : Cimento + caixa de ovo + água
	<b>Traço</b> : 1:0,04:0,5
	<b>Quantidade (g)</b> : 1000g de cimento + 40g de caixa de ovo + 500g de água

Quadro 2: proporções de materiais usadas no primeiro ensaio

## 5. Resultados e discussões

Para verificar qual o melhor material a ser estudado e dar prosseguimento aos ensaios e estudos, foi experimentalmente analisado os três materiais que seriam usados para a produção do compósito, sendo eles o papelão (ovo de ovo), serragem de madeira e isopor. O Quadro 3 apresenta os resultados e seu comportamento em relação aos ensaios:

Norma :		NBR 8802 / ASTM C597-09		(NBR 13279)					
tipo de ensaio :		ensaio não destrutivo		ensaio destrutivo					
				Tração		Compressão			
CP	Massa (g)	Ultrassom (us)	Ultrassom (m/s)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (MPa)	Força máxima (N)		Resistência à flexão (MPa)	
						L1	L2	L1	L2
C1	249,49	344	465	138	0,32	1335	1348	0,83	0,84
C3A	400,67	55,4	288	2043	4,79	28419	27885	17,76	17,43
C2	351,33	57,4	2787	811	1,9	8846	9532	5,53	5,96
C4	537,97	38,8	4124	2163	5,07	54019	54540	33,76	34,09
C3B	389,61	51,9	3083	1831	4,29	20757	20316	12,97	12,7

Quadro 3: resultados de acordo com cada ensaio

De acordo com os resultados e tendo C4 (corpo de prova tradicional) como referência, o corpo de prova que apresentou melhor comportamento foi o C3B que tinha como material em sua composição o agregado de papelão. O isopor (C2) apresentou e teve um resultado interessante, porém não superou o do papelão. Já o resultado do C1 que tinha como agregado a serragem de madeira foi o mais baixo, isso deve se deve principalmente porque não houve o pré tratamento inicial da serragem de madeira que é necessário, mas foi aplicado um aditivo químico (superplastificante) para verificar seu comportamento que aliás não teve um bom resultado. Muitos autores defendem que os agregados de madeira devem ter um pré tratamento juntamente com o CaO um pouco antes da mistura com o cimento, pois tal tratamento (existem vários) tem a função de melhorar a impregnação de partículas e homogeneidade da madeira com o cimento, assim melhorando todas as características do material resultante, contudo, o pré tratamento implicaria em mais um procedimento, mais tempo

e poderia encarecer a aplicação do material, ao contrário do papelão que demonstrou um ótimo resultado e não necessita de pré tratamento a princípio que nem a madeira.

Com base nas informações, foi dado prosseguimento aos ensaios para se verificar o comportamento do papelão (caixa de ovo), até qual quantidade máxima poderia ser usado como agregado e também a sua granulometria.

cimento	CP1		CP2		CP3	
Material	Traço	quantidade(g)	Traço	quantidade(g)	Traço	quantidade(g)
cimento	1	1000	1	1000	1	1000
água	0,5	500	0,5	500	0,5	500
papelão (caixade ovo)	0,05	50	0,05	50	0,05	50
Material	Traço	quantidade(g)	Traço	quantidade(g)	Traço	quantidade(g)
cimento	1	1000	1	1000	1	1000
água	0,5	500	0,5	500	0,5	500
papelão (caixade ovo)	0,06	60	0,07	70	0,08	80
Material	Traço	quantidade(g)				
cimento	1	1000				
água	0,5	500				
papelão (caixade ovo)	0,1	100				

Quadro 4: Quantidades usadas nos ensaios na segunda vez

Vale ressaltar que no CP1 tiveram agregados de papelão com partículas menores, no CP2 e CP3 tiveram caixas de ovos distintas sendo de 12,30 unidades respectivamente. Isso se deve porque as caixas disponíveis no mercado podem apresentar aspecto diferentes, como papelão mais reforçado ou papelão com característica mais frágil (material reciclado muitas vezes). Já nos outros CP's tem o mesmo tipo de papelão. Após a mistura dos materiais, os corpos de prova foram disponibilizados para os ensaios e apresentaram os seguintes resultados.

De acordo com os dados podemos perceber que no CP1, CP2 E CP3 possuem resultados distintos mesmo tendo a mesma quantidade de materiais. O que difere é a granulometria e o aspecto do papelão, no CP1 temos o papelão em partículas menores e sendo um material mais robusto o que permite uma melhor homogeneidade das fibras celulósicas presentes no papelão com o cimento.

Norma :		NBR 8802 / ASTM C597-09		(NBR 13279)					
tipo de ensaio :		ensaio não destrutivo		ensaio destrutivo					
				Tração		Compressão			
CP	Massa (g)	Ultrassom (us)	Ultrassom (m/s)	Força máxima (N)	Resistência à flexão (MPa)	Força máxima (N)		Resistência à flexão (MPa)	
						L1	L2	L1	L2
CP1	431,44	52,4	3053	2204	5,17	39811	46395	24,88	29
CP2	420,68	60,7	2636	1969	4,62	47724	47524	29,83	29,7
CP3	427,89	71,4	2241	2478	5,81	42713	40515	26,7	25,32
CP4	418,92	56,4	2837	2851	6,68	40882	38652	25,55	24,16
CP5	400,66	69,1	2315	1657	3,88	19891	26919	12,43	16,82
CP6	431,34	58,5	2735	2771	6,49	47650	47624	29,78	29,77
CP7	328,25	172,3	929	1233	2,89	10021	9754	6,26	6,1
CP tradicional	537,97	38,8	4124	2163	5,07	54019	54540	33,76	34,09

\*CP tradicional : Corpo de prova padrao usado como referência (cimento ,areia e água)

Quadro 5: resultados dos ensaios em um segundo momento

Já no CP2 e CP3 o material das caixas de ovos usadas é diferente, sendo mais frágeis e foram cortadas com tamanhos maiores para que fosse verificado a questão da granulometria e a interferência que ela tem nos resultados. Como esperado (CP1) o papelão com partículas menores apresenta bom resultado em relação aos demais no ensaio por ultrassom pelo fato de possuir quantidade menor de espaços vazios e melhor resistência até se comparado ao CP tradicional, o que é bem positivo e poderá ser aproveitado posteriormente. Vale salientar que

existe um limite em relação a quantidade de papelão a ser usada, até porque mesmo aumentado a resistência é necessário que as outras propriedades sejam e sigam a norma estabelecida, ou seja, é preciso encontrar um ponto ótimo entre a proporção de material máxima a ser usada. Com base nos dados é indicado que quantidade de papelão não exceda 80g pois é o que apresenta melhores propriedades.

## 6. Conclusão

Podemos concluir que é possível usar os resíduos sólidos para elaboração de compósitos na área de construção civil. O compósito que teve em sua composição melhor resultado foi o papelão e mais satisfatório sendo que ficou evidente que a granulometria possui enorme influência nos resultados assim como a densidade e compactação do material. Pelo método não destrutivo por ultrassom o CP1 (50g de caixa de ovo) apresentou o melhor resultado, contudo é necessário estar ciente de outros resultados e ensaios. O papelão é proveniente da celulose que por si só possui características como a resistência e elasticidade diferenciada, tal aspecto pode ser utilizado na aplicação para a fabricação de compósitos de argamassas respeitando uma quantidade de 80g de papelão porque se usado além dos limites pode afetar outras propriedades, porém, vale ressaltar que bons resultados dependem de sua granulometria, homogeneidade e densidade. A quantidade de água também é crucial, por isso é indicado usar o valor padrão.

Um fato interessante é o custo, com a aplicação do papelão na argamassa no lugar da areia, se tem uma redução de valores bem significativa se compararmos a preço do m<sup>3</sup> da areia no varejo (em torno de R\$ 125,00 em 2018) e a do papelão reciclado que é geralmente muito baixo. (em torno de R\$0,50).

Seria importante aprofundar ainda mais os estudos e aproveitar as características que cada material e elemento possa fornecer, pois a sociedade gera muitos resíduos e com desperdícios variáveis. Em um planeta que se é utilizada em demasia recursos naturais não renováveis o uso consciente e a logística reversa dos materiais é de grande importância.

## Referências

- Malhotra, V. M.; Carette, G. G.; Bilodeau, A.; Sivasundaram, V. (1991), Some Aspects of Durability of High – Volume ASTM Class F (low – calcium) Fly Ash Concrete, ACI Special Publication, (V. M. Malhotra, ed.) SP 126:65 – 82.
- MATUSINOVIC, T.; KURAJICA, S.; SIPUSIC, J. The correlation between compressive strength and ultrasonic parameters of calcium aluminate cement materials. *Cement and Concrete Research*, v. 34, p. 1451–1457, 2004.
- MELO NETO, Antonio A. de; HELENE, Paulo R. L. Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos. São Paulo: IBRACON, 2002.
- CALLISTER, Jr., W.D. *Materials Science and Engineering*. 7<sup>o</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7. ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrasônica. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro. 2013.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAIA, G.C. et al Concreto: Ciência e Tecnologia 2.v. v.1 Cap. 12, p. 415-451. São Paulo: Ed. IBRACON, 2011.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese de Indicadores Sociais. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/condicoes-de-vida-desigualdade-e-pobreza/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html?=&t=publicacoes> > Acesso em: 19 abril. 2018.

CHIKARMANE, Poornima. Integrating Waste Pickers into Municipal Solid Waste Management in Pune, India. Políticas da WIEGO (Políticas Urbanas). No. 8. Índia, 2009.

LOGAREZZI, A. Por uma terminologia consistente em resíduos. 2003. (Não publicado).

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas- ABRAF. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base de 2012. Brasília: 146p. 2013.

Standard Test Method for Pulse Velocity Trough Concrete; designation: C597 - 09. ASTM International, 2000. 4 p.

Evangelista, A.C.J. (2002), Avaliação da Resistência do Concreto usando diferentes ensaios não destrutivos. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2002. 219p.

Benetti, J. “Avaliação do Módulo de Elasticidade Dinâmico de Concreto Produzido com Agregado Graúdo Reciclado de Concreto”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil. 2012.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR. NBR 8802: Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro. 2013.

ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland. Tipos de cimento. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-de-cimento-portland/>> Acesso em 17 abril. 2018.

POPOVICS, S. Effects of uneven moisture Distribution on the Strength of and Wave Velocity in Concrete. Ultrasonics, 2005, v. 43. p. 429-434.

AGUILAR, M.T.P.; SILVA, A.P.; CORRÊA, E.C.S.; CETLIN, P.R. Análise da capacidade de deformação do concreto: módulo de young x módulo de deformação. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECIMAT, 2006, Foz do Iguaçu - Paraná. Anais..., 15 a 19 de novembro de 2006. p. 3672- 3684.

ABO-QUDAIS, S.A. Effect of concrete mixing parameters on propagation of ultrasonic waves. Construction and Building Materials, 2005, v. 19. p. 257-263

#### d) Incorporação do Poliestireno Expandido (EPS) em Argamassas Cimentícias

**Janilce Negrão, Rafaela Ribas da Rocha, Adriana de Paula Lacerda Santos, Nicolle Sotsek, Marcell Mariano Maceno**

**Resumo:** Dentro do âmbito da construção civil, resíduos sólidos são descartados diariamente sem muitas vezes pensar na possibilidade da reutilização ou reciclagem. Neste contexto, o objeto de estudo foi desenvolver uma argamassa com a incorporação de EPS (poliestireno expandido) como substituto parcial do agregado miúdo. A metodologia utilizada baseou-se em uma revisão bibliográfica sobre as argamassas que já utilizam resíduos sólidos como material, aliado aos ensaios em laboratório de diferentes formulações de argamassas com EPS, visando testar a resistência mecânica das mesmas. Para isso, foram realizados testes de esforços (tração na flexão e compressão) em corpos de prova compostos de cimento, areia, água e EPS. Foram ao todo 4 traços diferentes: 3 contendo EPS e mais um contendo somente cimento areia e água (uma argamassa de referência). Os traços utilizados foram os seguintes: (na ordem do traço, respectivamente: cimento:areia:EPS) 1:2,8:0,03 (ARG1); 1:2:0,3 (ARG2) - ambos com relação água/cimento de 0,6; 1:1,193:0,0193 (ARG3) – relação água/cimento de 0,5 e a argamassa de referência com traço de 1:3 (ARGREF) e relação água/cimento igual a 0,5. Os resultados obtidos em laboratório mostraram que, conforme aumenta-se a quantidade de EPS, menor é a resistência da argamassa, tanto para compressão quanto para tração na flexão. Dentre as argamassas com EPS testadas, a mais resistente foi a que tinha uma quantidade menor de EPS (ARG3), sendo a resistência à tração na flexão aos 28 dias de 3,64 Mpa e a resistência à compressão, também aos 28 dias, de 9,23 Mpa. Baseado no estudo desenvolvido foi possível concluir que as argamassas contendo EPS podem ser utilizadas na construção de habitações populares, porém sem uma função estrutural Além disso, ressalta-se o fato de que é uma argamassa menos densa, o que pode ser positivo para aplicação em alguns elementos do ambiente construído.

**Palavras-chave:** Resíduos, Argamassa, EPS

#### **Incorporation of Expanded Polystyrene (EPS) in Cement Mortars**

**Abstract:** Within the scope of construction, solid waste is discarded daily without often thinking about the possibility of reuse or recycling. In this context, the object of study was to develop a mortar incorporating EPS (expanded polystyrene) as a partial substitute for fine aggregate. The methodology used was based on a literature review on mortars that already use solid waste as material, combined with laboratory tests of different formulations of mortars with EPS, aiming to test their mechanical resistance. For this, stress tests (flexural traction and compression) were performed on specimens composed of cement, sand, water and EPS. There were a total of 4 different strokes: 3 containing EPS and one containing only sand and water cement (a reference mortar). The traits used were as follows: (in the order of the trait, respectively: cement: sand: EPS) 1: 2.8: 0.03 (ARG1); 1: 2: 0.3 (ARG2) - both with a water / cement ratio of 0.6; 1: 1.193: 0.0193 (ARG3) - water / cement ratio 0.5 and reference mortar with a 1: 3 trace (ARGREF) and water / cement ratio 0.5. The results obtained in the laboratory showed that as the amount of EPS increases, the lower the mortar resistance, both for compression and for flexural traction. Among the tested mortars with EPS, the most resistant was the one with the lowest amount of EPS (ARG3), with the flexural tensile strength at 28 days being 3.64 Mpa and the compressive strength also at 28 days. 9.23 Mpa. Based on the study it was concluded that the mortars containing EPS can be used in the construction of

popular dwellings, but without a structural function. Moreover, it is emphasized that it is a less dense mortar, which can be positive for application in some elements of the built environment.

**Keywords:** Waste, Mortar, EPS

### **Introdução**

No Brasil, em 2016, foram descartadas 78,3 milhões de toneladas de lixo. Desses, 91% foi coletado, mas metade da porcentagem (cerca de 45%) foi para lixões e aterros de baixa segurança. A Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Abrelpe-, constatou que foram geradas 29,7 milhões de toneladas de resíduo sólido com destinação inadequada, refletindo diretamente na segurança e saúde da população. O lixo, visto por este lado, aparenta ser um problema para a sociedade. No entanto, a tentativa da reutilização do material descartado, como uma forma de solucionar os grandes volumes de lixo, vem a ser bastante empregada (ABRELPE, 2016).

A reutilização, em um contexto mundial, é bastante difundida, principalmente pensando no desenvolvimento sustentável. Os recursos naturais que estão disponíveis são finitos e, principalmente na construção civil, possuem grande necessidade de uso, visto que é o setor em que são mais utilizados. Usar resíduos descartados é uma oportunidade de inovação para o desenvolvimento de produtos e ainda contribui para a preservação do meio ambiente. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012). Felizmente, já existem diversos materiais que são manufaturados a partir de resíduos, como os tijolos de entulho, blocos ISOPET (a partir do isopor e das garrafas PET), concretos com borracha de pneu ou tijolos e concretos com adição de PET ou fibras do PET. É essencial que o número de materiais reciclados seja cada vez maior, visando a sustentabilidade (SANTOS, 2018).

Dentre os materiais que podem ser reutilizados dentro do escopo da construção civil, especificamente como substituto parcial do agregado nas argamassas, encontra-se o EPS. O poliestireno expandido (EPS), mais conhecido como Isopor® (marca registrada da empresa Knauf Isopor® Ltda.), é resultado da polimerização do estireno em água, formando um plástico celular rígido. Dentro da construção civil, o material já é utilizado como isolante térmico nas edificações, sendo eficiente para este fim. Este material tem como vantagem a possibilidade de reaproveitamento e reciclagem que, mesmo após ser reutilizado infinitas vezes, as propriedades mecânicas não são perdidas (ABIQUIM, 2019).

Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi desenvolver um compósito a partir do uso do EPS que pudesse ser utilizado em placas cimentícias para habitações populares como forma de vedação.

Utilizando o EPS como agregado na argamassa é possível obter resultados mecânicos com bom desempenho. O segredo da mistura está no traço (quantidade de cada elemento da mistura) bem como no processo de fabricação da argamassa. O objetivo foi encontrar a melhor quantidade de EPS para que se obtivesse uma argamassa ideal dentro dos padrões que são exigidos em placas cimentícias para a função anteriormente explicada.

### **Revisão Bibliográfica**

A Argamassa é um material poroso largamente utilizado na construção civil, é definida pela NBR- 13529:2013 da seguinte forma: “Argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.” O material é utilizado para diversas aplicações, e que, também conforme a NBR-13529:2013, as propriedades dependem das proporções e do tipo dos aglomerantes e agregados empregados.

Buscando-se ampliar o escopo de aplicações das argamassas na construção civil, pesquisas e experimentos são realizados constantemente para se encontrar outros tipos de materiais que possam ser utilizados como agregados. As pesquisas têm como objetivo testar os efeitos causados dentro da argamassa por estes diferentes materiais. (PIRES, 2017).

### **Poliestireno expandido (EPS)**

Dentre as resinas termoplásticas existentes, como o polipropileno (PP) e o cloreto de polivinila (PET), encontra-se também o poliestireno (PS). Esse último foi produzido comercialmente pela primeira vez em 1930 por uma companhia Alemã (IG Farbenindustrie) e desde então sua produção e vendas vêm crescendo significativamente. (TESSARI, 2016).

Segundo o Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o poliestireno é vendido em três diferentes formas: Cristal (GPPS), Poliestireno expandido (EPS) ou Poliestireno de alto impacto (HIPS). O poliestireno expandido é produzido a partir de uma expansão da resina do próprio poliestireno condicionada pela injeção de um agente químico na fase da reação de polimerização. Assim forma-se uma espuma rígida que tem como principais usos o isolamento térmico e embalagens para proteção de produtos, funcionando como uma barreira física. (TESSARI, 2016).

Dentro da construção civil o uso do poliestireno expandido está ainda mais difundido. Por suas características isolantes, leveza, facilidade de manuseio, versatilidade e ainda baixo custo, esse material se encontra cada vez mais inserido nas estruturas construídas no país. Existe uma economia de mão-de-obra, equipamentos e tempo de execução. (MORAES E BRASIL, 2015)

Dentre as funções que o EPS pode desempenhar para a construção civil, também segundo Tessari (2016), está o isolamento térmico já mencionado, o preenchimento de lajes em função de seu baixo peso específico além da produção de concreto leve, que funciona visto que o poliestireno expandido praticamente não absorve água. A partir da produção do concreto leve, segundo Metha e Monteiro (1994), ainda se tem como vantagem uma produção de peças pré-fabricadas com menores custos de manuseio, transporte e montagem.

Dentro deste mesmo contexto, pré-fabricados exigem que novos materiais sejam sempre desenvolvidos para que se tenha um desenvolvimento do setor da construção civil. Aqui, entra-se a utilização do EPS, visto tudo que foi apresentado anteriormente sobre as vantagens oferecidas por este material

A fim de se estudar a possibilidade da utilização do EPS na Construção Civil, foram empregadas nesta pesquisa argamassas, compostas de cimento, areia, poliestireno expandido e água. Estas, têm como objetivo a fabricação de placas cimentícias, que possam ser utilizadas em habitações populares como forma de vedação (suporte para telhas). A pesquisa, a partir da produção de corpos de prova, visou obter o traço ideal para que a placa tenha condições de proteger o imóvel de possíveis intempéries e vedar a habitação corretamente. Para se obter tal traço, foram testadas diferentes quantidades de poliestireno expandido (EPS) para cada mistura, realizando testes de resistência à compressão e tração na flexão.

### **Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão**

Para avaliar devidamente as resistências de um corpo de prova de argamassa, a norma NBR 13279:2005 explica como devem ser feitos os seguintes ensaios: Ensaio de resistência à tração na flexão e Ensaio de resistência à compressão.

O ensaio de resistência à tração na flexão funciona submetendo o corpo de prova à flexão, com carregamento em duas seções simétricas, até o momento da ruptura. O carregamento é imposto por uma máquina que deve estar conforme a ABNT NBR NM 7500-1 exige. A força

aplicada é de (50 +/- 10) N/s e a resistência à tração é calculada pela equação 1.

$$R_f = \frac{1,5F_f L}{40^3} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

- Rf: resistência à tração na flexão (MPa)
- Ff: carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)
- L: distância entre os suportes (mm)

O ensaio de resistência à compressão deve ser realizado com as duas metades que restarão do ensaio de tração na flexão, posicionando-as, uma de cada vez, no mesmo equipamento (ajustado para o ensaio de compressão) aplicando-se uma força de (500 +/- 50) N/s até a ruptura. Neste caso, a resistência é calculada pela equação 2.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

- Rc: resistência à compressão (MPa)
- Fc: carga máxima aplicada (N)

### **Materiais e Métodos**

Para realizar o projeto foi realizada uma revisão da literatura a fim de identificar os diferentes traços de argamassas contendo EPS. Na sequência os corpos de prova foram moldados e ensaiados no laboratório de argamassas do CESEC dentro do campus politécnico da UFPR (Universidade Federal do Paraná) para testar os traços com potencial

O experimento se deu a partir da preparação de corpos de prova (CP'S) que são compostos de Cimento Portland (CPII-E), areia média comum e água. Foram moldados, ao todo, 4 tipos diferentes de CP's: um deles contendo somente os materiais citados anteriormente (sendo uma argamassa de referência para comparação de resultados preparada com cimento areia e água) e outros três compostos dos mesmos materiais, mas adicionando-se poliestireno expandido. O EPS utilizado foi em formato de pérolas (bolinhas) conforme apresentado na FIGURA 1.



FIGURA 1- Pérolas de EPS

Baseado na revisão da literatura, tendências de traços de argamassas com EPS foram testadas e abandonadas quando não obtiveram um bom resultado, separando os traços com potencial para o presente experimento. Os melhores traços estão apresentados na Tabela 1 (ARG de 1 a 3). Os traços foram todos calculados em massa e a água em volume. A Tabela 2 mostra as massas e, no caso da água, o volume, utilizados para cada caso. A argamassa “ARG REF” também apresentada nas tabelas 1 e 2, se refere a argamassa de referência composta somente de cimento, areia e água.

Argamassa	Cimento	Areia	Isopor	Água
ARG 1	1	2,8	0,03	0,6
ARG 2	1	2	0,03	0,6
ARG 3	1	1,193	0,0143	0,5
ARG REF	1	3	0	0,5

Tabela 1- Traços das argamassas testadas

FONTE: Os autores (2019)

Argamassa	Cimento	Areia	Isopor	Água
ARG 1	500g	1400g	15g	300ml
ARG 2	500g	1000g	15g	300ml
ARG 3	500g	596,5g	7,15g	250ml
ARG REF	500g	1500g	0,0g	250ml

Tabela 2- Quantidades de material utilizado

FONTE: Os autores (2019)

Todos os corpos de prova passaram pelos seguintes passos de preparação das argamassas, conforme a norma NBR16541:2016 Separação e pesagem em balança analítica (de resolução de 0,1g) dos materiais conforme os traços desejados, seguido de mistura na batedeira por 5min de todos os materiais pesados e separados e, então, foi passado o material para as formas.

Para a moldagem, primeiramente, em todas as formas foi passado óleo mineral (desmoldante). Logo depois, a argamassa foi moldada manualmente por apiloamento, utilizando-se um soquete, onde o preenchimento de cada molde para os CP's foi realizado em três camadas em que foram distribuídos 25 socos (em cada uma das camadas) em toda a área da mistura. Para cada traço, foram moldados 3 corpos de prova. Os CP's foram moldados nas dimensões de 4cmx4cmx16cm conforme especificado pela NBR13279:2005.

O método utilizado para verificar a eficiência do EPS na constituição da argamassa, foi o de realizar os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão (aos 14 e 28 dias após a moldagem) conforme a NBR13279:2005. Os resultados testes de laboratório foram expostos por meio de tabelas e gráficos de Força (N) x Deformação (mm). Depois de realizados, os resultados foram analisados e comparados para se chegar ao veredito de qual a quantidade ideal de poliestireno expandido para que a argamassa tenha resultados satisfatórios quanto à resistência.

Comparar com um traço convencional foi a maneira encontrada para se ter a certeza de que os

resultados em análise não seriam abaixo do esperado para uma argamassa. Assim, concluir-se-ia que o emprego do EPS não irá prejudicar a construção de placas e blocos cimentícios de forma alguma, trazendo somente consequências positivas.

O primeiro ensaio realizado, a partir da NBR13279:2005, foi o de tração na flexão. Foi utilizado como equipamento uma prensa normatizada pela mesma norma mencionada anteriormente (ajustada conforme anexo A.4 da NBR), conforme a FIGURA 2 a seguir. Foram ensaiados todos os diferentes corpos de prova, rompendo um aos 14 dias após a moldagem e outro aos 28 dias após a moldagem.



FIGURA 2- Prensa realizando ensaio de tração à flexão  
FONTE: Os Autores (2018)

O segundo ensaio realizado foi o de compressão, realizado com as duas metades de cada corpo de prova, visto que o ensaio de tração na flexão já havia rompido os CP's em duas partes. Foi concretizado seguindo também as normas da NBR13279:2005, com a mesma prensa utilizada para o ensaio de compressão, mas ajustada conforme a norma exige para o diferente procedimento (anexo A.5 da NBR).

Cada corpo de prova gerou dois valores de resistência à compressão para cada idade (14 e 28 dias), que para a devida análise foi calculada a média das resistências e colocadas em tabela (Tabela 4). Todo este processo foi seguindo o item 5.5.3. da NBR13279:2005. A FIGURA 3 mostra uma das metades dos corpos de prova passando pelo ensaio de compressão.



FIGURA 3- Prensa realizando ensaio de compressão

FONTE: Os Autores (2018)

### Resultados e análise dos dados

O que foi obtido foram os resultados dos testes de tração na flexão e de compressão organizados nas tabelas 3 e 4, respectivamente. Para análise, foi verificado os valores de resistência para cada ensaio e, assim, chegar as conclusões relatadas em seguida.

Argamassa	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)
ARG 1	1,9	1,91
ARG 2	2,78	2,87
ARG 3	2,94	3,64
ARG REF	5,07	7,5

Tabela 3- Resultados do ensaio de tração na flexão

FONTE: Os autores (2019)

Argamassa	14 dias (MPa)	28 dias (MPa)
ARG 1	5,75	6,38
ARG 2	9,69	8,61
ARG 3	13,1	9,23
ARG REF	33,93	35,74

Tabela 4- Resultados do ensaio de compressão

FONTE: Os autores (2019)

A partir dos resultados mostrados nas tabelas, foi possível concluir que a resistência da argamassa, tanto para compressão quanto na tração na flexão, é inversamente proporcional a quantidade de poliestireno expandido. É possível observar que, quanto menor a quantidade de EPS, maior é a resistência do corpo de prova e mais se aproxima dos resultados de resistência

de uma argamassa comum.

Analisando as Tabelas 3 e 4, é possível também observar a diferença entre valores de resistência para uma argamassa comum (ARG REF) comparado aos valores das argamassas contendo EPS. Para compressão, é possível observar que essa diferença é ainda maior, visto que a maior resistência obtida aos 28 dias para argamassas com EPS é 25,8% do valor da argamassa de referência para o mesmo dia de ensaio.

Por mais que a argamassa em questão não apresente resistências altas, deve ser levado em conta o fato de que se tem como objetivo somente o desenvolvimento de placas cimentícias para vedação e não funções estruturais e, por isso, as resistências são importantes para que a placa se mantenha com o passar do tempo (sem deteriorar), sem que tenha que suportar grandes cargas.

Comparando o resultado das três argamassas contendo EPS pode-se concluir que a que obteve maiores resistências tanto para compressão quanto para tração na flexão foi a “ARG3”, de traço 1:1,193:0,0143, com relação água/cimento igual a 0,5. A FIGURA 4 ilustra a argamassa de melhor desempenho (ARG3), na parte superior da foto e, na parte inferior, a “ARG2”. Pela imagem, é possível verificar que a argamassa 3 mostrou-se aparentemente mais compacta pela falta de vazios e um melhor adensamento das partículas. Na FIGURA 5 é possível comparar as mesmas duas argamassas (ARG 2 à esquerda da foto e ARG 3 à direita) observando, novamente, um adensamento melhor na zona de ruptura apresentada.

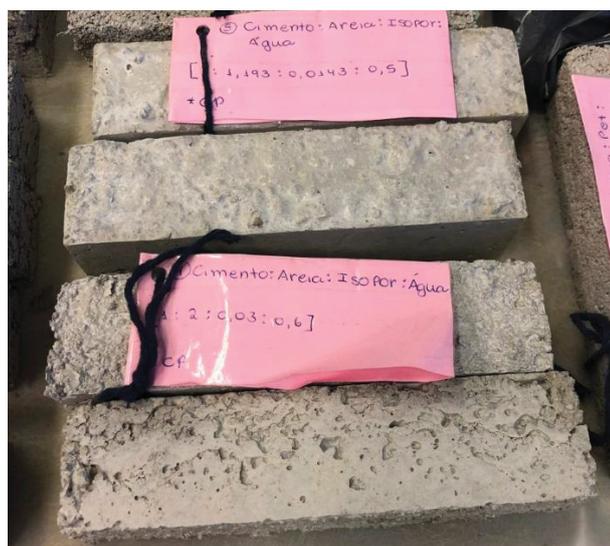


FIGURA 4- Argamassa 3 (ARG3) e Argamassa 2 (ARG2)

FONTE: Os autores (2018)



FIGURA 5- Argamassa 2 (ARG2) e Argamassa 3 (ARG3)  
FONTE: Os autores (2018)

### Conclusão

Mesmo comprovado que quantidades menores de EPS na argamassa sejam melhores para que se obtenham maiores resistências nos testes de esforços realizados, ainda é de se pensar que adicionar o EPS como agregado, mesmo que em quantidades reduzidas, traz benefícios sustentáveis ao planeta. Visto que o EPS descartado pode ser reutilizado já dentro da construção civil, uma parte da massa de resíduos sólidos reduzirá, tendo um menor retorno indevido ao planeta.

Além disso, a argamassa com o EPS é aparentemente menos densa, o que nos leva a crer que servirá para funções não estruturais. Para certeza disso, o ideal seria uma continuação do estudo em cima dos corpos de prova contendo EPS, medindo corretamente suas massas e densidades, verificando a veracidade de termos obtido uma argamassa menos densa.

Ainda que tenha sido possível chegar as conclusões apresentadas, analisando-se as tabelas de resultados do teste de esforço para compressão, observa-se que nas argamassas 2 e 3 (ARG2 e ARG3) a resistência diminui dos 14 dias para os 28 dias. Isso ocorreu por um possível erro de moldagem ou mesmo um erro na medição das resistências. Isto indica a necessidade de refazer os corpos de prova e novos testes mecânicos para aferir tal resultado.

### Referências

- ABIQUIM. Aplicações do EPS. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em: 23 abril 2019.
- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016. Brasília: Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2016. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>. > Acesso em: 01 agosto 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos- Preparo da mistura para realização dos ensaios. Rio de Janeiro, 2016.
- BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social Aspectos Gerais do Poliestireno. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: < <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home> >. Acesso em: 23 julho 2019.
- METHA, K; MONTEIRO, J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. PINI, São Paulo, 1994.

- MORAES, C., BRASIL, P. Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido na produção de edificações com baixo impacto ambiental Eficiência Energética do Ambiente Construído. 4 Seminário Nacional de construções sustentáveis, Fórum de desempenho das edificações, 2015. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>> Acesso em: 06 agosto 2018.
- PIRES R.; Desenvolvimento de argamassas com adição de poliestireno expandido. TCC (Engenharia de Infraestrutura) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Joinville. Novembro, 2017.
- SANTOS, L. C.; Materiais reciclados na Construção Civil: concreto com adição de pet ou pneus descartáveis. Disponível em: < <http://domtotalcom/noticia/1256321/2018/05/materiais-reciclados-na-construcao-civil-concreto-com-adicao-de-pet-politereftalato-de-etileno-e-ou-pneus-descartaveis/>> Acesso em:10 setembro 2018.
- TESSARI, J.; Utilização do poliestireno expandido e potencial de aproveitamento dos seus resíduos na construção civil. 2006. 102f. Programa de pós graduação em engenharia civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.

## e) DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM COMPÓSITO FEITO À BASE DE AGREGADOS RESIDUAIS

**Thalyta Maria Peres Genaro, Janilce dos Santos Messias Negrão, Nicolle Christine Sotsek Ramos, Marcell Mariano Correia Maceno, Adriana de Paula Lacerda Santos**

**Resumo:** A pesquisa de novos compósitos que possam ser utilizados como insumos nos diversos segmentos industriais tem sido o objeto de estudo de muitas pesquisas, devido à sua importância ambiental, social e econômica. No Brasil, as oportunidades de se realizarem estudos a respeito de compósitos feitos de resíduos são abrangentes, visto que a destinação certa desses resíduos ainda é um problema. Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver compósitos a base de agregados residuais, como resíduos sólidos urbanos (RSU), e testar o comportamento da absorção de água por capilaridade neles, de modo a obter dados que possibilitem a análise para a viabilidade desses materiais, a partir da perspectiva de suas características físicas. Os estudos realizados tiveram como resíduos sólidos caixas de ovos, isopor e serragem de pinus e, para a análise, utilizou-se a norma NBR 9779. Por fim, os resultados revelaram que os compósitos de caixas de ovos apresentaram o melhor desempenho entre os demais testados.

**Palavras-chave:** Compósito, desenvolvimento de produto, resíduo, reciclagem, teste de capilaridade.

### **Development and analysis of water absorption by capillarity of composites based on residual aggregates**

**Abstract:** The research of new composites that can be used as inputs in several industrial sectors has been the object of study of many researches, due to their environmental, social and economic importance. In Brazil, there are wide opportunities for conducting studies regarding composite waste compounds, as the fate of these wastes is still a problem. Thus, this research aims to elaborate composites based on residual aggregates and test the behavior of water absorption by capillarity, in order to obtain data that verify the viability of these materials in relation to their exercised results. Used for this in NBR 9779 as a basis for experimental tests, the revealed results that make up the egg box shown or the best performance among the others tested.

**Keywords:** Composites, capillarity, residue, recycling.

### **1. Introdução**

Os estudos sobre elaboração de materiais alternativos para resolução de problemas e geração de inovações têm proporcionado grandes avanços tecnológicos atualmente. Para isso, é necessário a compreensão do conceito de desenvolvimento de produtos, que é, segundo Krishnan (2001), a transformação de uma oportunidade de mercado e um conjunto de suposições sobre a tecnologia de produto em um produto disponível para venda. Além disso, a sua importância, demonstrada pela quantidade de consumidores nos países em desenvolvimento (MITAL, 2008), não se dá apenas pela novidade em si, mas também pelo fato da utilização desses gerar contribuições significativas na indústria e na sociedade. A maior parcela da população mundial vive em países emergentes e, conforme esses indivíduos enriquecem, eles

requerem mais bens que aprimorem seus padrões de vida, o que direciona para um aumento no consumo e demanda por matérias primas (MITAL, 2008). Considerando esse contexto, o desenvolvimento de produtos à base de resíduos sólidos urbanos (RSU), recursos em abundância e muitas vezes não aproveitados em sua forma plena, pode ser uma proposta interessante para suprir a demanda mundial e ao mesmo tempo agregar valor aos resíduos.

Mesmo identificando a oportunidade de desenvolver produtos à base de agregados residuais, existem dificuldades relacionadas à elaboração de novos materiais que se dão principalmente pela complexidade no processo de desenvolvimento do produto. É necessário que haja uma abordagem multidisciplinar que exige trabalho em equipe, a aplicação de práticas adequadas e diversos métodos de desenvolvimento, o que provoca uma acentuada interação entre diferentes áreas da engenharia para que se possam projetar melhores produtos. Portanto, são necessários amplos conhecimentos das diversas áreas da engenharia, noções gerenciais, visão sistêmica e integrada do negócio e relacionamento interpessoal (MUNDIM, 2002).

Ainda assim, sabe-se que as chaves para o desenvolvimento de novos produtos são: a informação que indica o que as pessoas querem, quais características do produto são consideradas essenciais, que preço elas estão dispostas a pagar pelo produto, quais características são desejáveis, mas que podem ser sacrificadas por um preço mais baixo, concorrentes atuais e potenciais e prováveis mudanças no valor e volume do mercado (MITAL, 2008). Com base nesses princípios, podem-se elaborar produtos eficientes e inovadores.

Dentre os objetos de estudo dessa temática, os compósitos, que são utilizados desde a pré-história, têm viabilizado novas possibilidades principalmente no setor de construção civil (MOSLEMI, 1999). Além disso, à capacidade de se desenvolver compósitos que podem ser utilizados como matéria prima, pode-se unir, também, a oportunidade de reutilizar materiais anteriormente descartados como resíduos, criando uma solução que, além de inovadora e ambientalmente positiva, pode ser uma alternativa economicamente viável, dado que os compósitos podem ser constituídos de materiais de baixo custo.

Isso posto, torna-se relevante obter parâmetros para a escolha dos insumos constituintes no planejamento da criação de novos compósitos. A abundância de alguns elementos destinados ao descarte pode ser considerada como um parâmetro apropriado de decisão dos materiais, uma vez que é conhecido que, desde 2014, cerca sete bilhões de seres humanos geram cerca de 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos ao ano e, para 2050, a previsão é de 4 bilhões de tonelada (SENADO, 2014). No Brasil, gera-se cerca de 219 mil toneladas de lixo por dia, sendo 57,4% matéria orgânica, 16,5% plástico e 13,2% papel e papelão (LEIA, 2018) e, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, cerca de 80% de suas cidades possuía baixa ou nenhuma condição de tratar o resíduo de maneira correta (ABRELPE, 2012). A partir dessa perspectiva pode-se realizar uma análise a respeito de materiais que são comumente destinados ao lixo sem que haja finalidades para os mesmos.

A serragem, por exemplo, é um resíduo abundante na indústria madeireira, segundo Hillig (2006) e sua viabilidade na utilização de compósitos cimentícios leves já tem sido analisada (GARCEZ, 2017). Similarmente, pode-se observar que caixas de ovos – constituídas de papelão ou papel, plástico e espuma de poliestireno – e materiais de isopor são destinados ao resíduo diariamente e, muitas vezes, sem a consideração de serem utilizados para outros propósitos, o que é prejudicial ao meio ambiente e acarreta um aumento no desperdício de materiais.

Em virtude dessas referências, foram desenvolvidos compósitos feitos a partir de serragem de pinus, caixas de ovos e isopor para serem utilizados numa proposta de produção de elementos de construção para moradias de famílias em situação de vulnerabilidade, uma vez que tais residências são, muitas vezes, precárias, dados aos baixos poderes aquisitivos de seus moradores. Sendo assim, o uso de novos materiais na elaboração dessas moradias pode ser socialmente, economicamente e ambientalmente benéfico e viável.

Para determinar a viabilidade desses materiais em edificações torna-se indispensável o entendimento de como esses reagem a certos tipos de esforços e utilizações. Segundo Brascher (2011) o primeiro passo no processo de seleção de materiais no desenvolvimento de produtos é especificar os requisitos de desempenho do componente, relacionar com as principais características dos materiais e exigências de processamento. Consequentemente, alguns materiais podem ser eliminados e outros escolhidos como prováveis candidatos.

Dessa forma, é necessário que haja um estudo a respeito de como os compósitos se comportam na presença chuva, umidade do ar e outros fatores que envolvam a absorção de água no material, uma vez que as construções são expostas a essas situações. A absorção de água por capilaridade, aspecto físico indispensável na avaliação de escolha de materiais, é, segundo Santos (2007), a característica que materiais porosos possuem de atrair ou repelir líquidos por meio de suas redes de capilares e que pode ser visualmente observada conforme as paredes dos materiais se molham ou não em contato com água de acordo com o tempo de análise especificado, conforme Paranhos (2017).

Baseando-se nas determinações definidas, torna-se essencial a escolha de um método específico para desenvolvimento de produtos. O *design thinking*, modelo mental baseado na empatia, colaboração e experimentação (PINHEIRO, 2011) oferece, segundo Brown (2010), uma perspectiva sistemática que viabiliza a inovação e tem como foco a visão do consumidor. Essa abordagem que apresenta um enfoque em observação, colaboração, aprendizado rápido, visualização de ideias, protótipo e análise da concorrência proporciona resultados positivos referentes a estratégia do negócio e na inovação do mercado (LOCKWOOD, 2009).

A partir desse modelo de inovação, que é dado por etapas, é possível obter um procedimento padrão para o processo de desenvolvimento de produtos que possa ser benéfico para a sociedade e para as empresas.

Por essa razão, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do produto baseado na concepção de *design thinking* e em seguida, elaborar corpos de prova de serragem de pinus, isopor e caixas de ovos com maior e menor adição de celulose, afim de testar a absorção de água por capilaridade para a análise das reações dos compósitos e a verificação, a partir delas, da possibilidade de se trabalhar com eles, comparando seus resultados com os de um corpo de prova padrão, feito de cimento e areia. Dessa forma, visa-se desenvolver novos produtos para a construção de casas que sejam adequados e sustentáveis para o mercado.

## 2. Metodologia

A pesquisa desenvolvida tem como finalidade principal elaborar compósito a base de agregado residual e testar uma das suas propriedades física: a absorção de água por capilaridade. Para tal, foram estabelecidas seis principais etapas baseadas na concepção do *design thinking*, conforme está ilustrado na FIGURA 1.

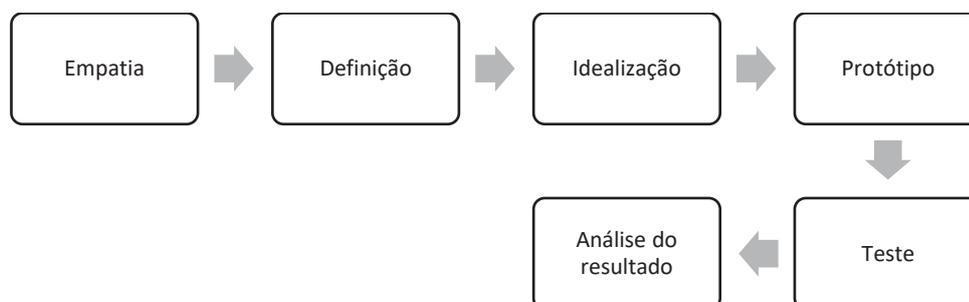


FIGURA 1 – Esquema representativo das seis etapas para a metodologia deste trabalho baseado no estudo de Pinheiro (2011).

Seguindo a metodologia do modelo, na primeira etapa, chamada de empatia ou imersão, é necessário que haja a aproximação dos desenvolvedores do produto com o problema –

referente a perspectiva do usuário e da equipe do projeto –, definindo-o e propondo uma resolução para o mesmo (VIANNA, 2012). Busca-se, então, conhecer os requisitos dos clientes para a elaboração do produto.

Neste estudo a fase de empatia deu-se por caracterizar atributos necessários que o compósito, produto em questão, necessita apresentar para que seja utilizado na construção civil. Propriedades como resistência, retração, higroscopicidade e porosidade são aspectos físicos essenciais para o entendimento do comportamento do material em estruturas.

Já na etapa de definição devem ser estabelecidos os requisitos mais importantes na análise das particularidades do produto. A absorção de água por capilaridade é um fenômeno a partir do qual é possível constatar, mediante testes experimentais, características essenciais como a durabilidade, a tensão superficial, a degradação e estanqueidade de cada material (SANTOS, 2007) e esse foi escolhido devido ao fato de que os produtos a serem desenvolvidos se tratem de elementos de construção para paredes de casas e, dessa forma, torna-se essencial essa análise para verificar a viabilidade física deles.

Em seguida, na terceira etapa, ocorre a captação de ideias para possibilitar um maior entendimento na elaboração do produto (PINHEIRO, 2011). Dessa forma, buscaram-se na literatura trabalhos relacionados com o uso de compósitos a base de resíduos reciclados secos para fins de construção civil e, por meio dessa pesquisa, obtiveram-se informações que possibilitaram a seleção de um grupo de resíduos reaproveitados. Foi realizada a coleta dos materiais que foram selecionados a partir da pesquisa na literatura como constituintes dos compósitos, que são: caixa de ovos, isopor e serragem de pinus, citados anteriormente na sessão 1.

Com essas informações, a quarta etapa foi realizada. Os corpos de prova dos compósitos no Laboratório de Materiais e Estruturas do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná foram desenvolvidos como base a matriz de pasta de cimento portland e areia adicionada de caixas de ovos com maior e menor adição de celulosa, isopor e serragem de pinus.

Na quinta etapa os testes de absorção de água por capilaridade foram realizados com base na norma ABNT NBR 9779. No experimento deste estudo não foram utilizados dessecador e estufa e os corpos de prova foram posicionados em um recipiente sem tampa dentro da câmara seca, com temperatura e umidades controladas a 23°C e 50%, respectivamente. Além disso, as massas dos corpos de prova foram determinadas após 1/2, 1, 2, 3, 6 e 72 horas contadas a partir da colocação deles em contato com a água.



FONTE: Autoria própria

FIGURA 2 – Corpos de prova posicionados em recipiente com 5 mm de água em contato com a superfície lateral do corpo de prova

Assim sendo, os corpos de prova permaneceram posicionados na cuba com água em uma altura de cinco milímetros, como é possível ver na FIGURA.2. Após os tempos determinados, os corpos de prova foram retirados da cuba, enxugados com um pano, pesados

em uma balança de precisão e retornados ao lugar onde estavam até o momento em que eram novamente pesados. O processo foi realizado até às 72 horas premeditadas após a colocação na cuba desde o posicionamento dos corpos de prova no recipiente com água conforme recomendações da norma.

Após às 72h, os corpos de prova foram retirados do recipiente e levados à prensa para quebrá-los ao meio e expor seu interior para observação. Após a ruptura, foi realizada a mensuração das faixas secas no interior dos corpos de prova com a utilização de um paquímetro digital, tomando as medidas das faixas secas na face do interior do exposta pela ruptura, dimensionando tais faixas nas extremidades e no centro da seção transversal de cada material para uma maior análise a respeito da passagem de água pelas suas paredes.



FONTE: Autoria própria

FIGURA 3 – Mensuração, em milímetros, da faixa seca no corpo de prova de cimento e areia

Por fim foi realizada a análise dos resultados obtidos nos testes para realizar as considerações a respeito da utilização dos compósitos na construção civil.

### 3. Resultados

Empregando o conceito de *design thinking* previamente apresentado e usando a terminologia que esse método determina, deu-se início ao processo de desenvolvimento de produto a partir do primeiro estágio, denominado por empatia.

O processo de desenvolvimento de produto iniciou-se em função da demanda proveniente de uma cooperativa que realiza coleta, separação, aproveitamento e descarte de materiais recicláveis em Curitiba, no Paraná. A proposta foi criar produtos a partir dos resíduos reciclados que não tem valor comercial significativo e por este motivo são descartados em grandes lixões, áreas em que são descartados resíduos a céu aberto.

A partir disso, pesquisas na literatura foram realizadas com objetivo de verificar quais compósitos já no mercado e quais são as demandas latentes. Essas pesquisas foram realizadas em duas bases de dados principais, a SciELO (Scientific Electronic Library Online) e ScienceDirect. Num segundo momento da pesquisa, percebeu-se que um setor que necessita de muitos materiais para seu desenvolvimento e que atualmente utiliza muitos insumos não renováveis era o setor da construção civil. Desta forma, tendo tais referências como bases, entendeu-se que o mercado de construção civil tinha como necessidade atual o uso de materiais que possam ser resistentes, duráveis e que possam, também, apresentar aspectos ambientais positivos. Dessa forma, definiram-se a cooperativa referenciada como cliente e, também, o setor de construção civil como cliente dos produtos a serem desenvolvidos.

Em seguida, dentro da etapa de definição do design thinking e sabendo as principais propriedades físicas a serem consideradas, o fenômeno de absorção de água por capilaridade foi definido como a característica a ser testada nesses materiais.

Na fase de idealização e protótipo, utilizaram-se as pesquisas obtidas nas bases de dados anteriormente referenciadas neste estudo e, a partir dessas, foram encontradas as normas e os métodos necessários para o desenvolvimento dos compósitos, dando-se início a elaboração deles. Os corpos de prova foram, então, misturados e moldados de acordo com as normas ABNT NBR 5738, 12821, 12655/06, 5739 e NP EN 323 e tiveram suas dimensões, ao final das moldagens, de 4 x 4 x 16 cm, com forma prismática.

Para fins de entendimento, os corpos de prova de serragem, isopor, caixas de ovos e o corpo de prova padrão tem suas notações, respectivamente, como CP1, CP2, CP3-A no caso corpo de prova de caixas de ovos com maior concentração de celulose, CP3-B no caso do corpo de prova de caixas de ovos com menos celulose, e CP4. É importante pontuar, novamente, que o corpo de prova de cimento e areia, CP4, foi elaborado para que houvesse uma comparação entre um padrão conhecido e cada compósito desenvolvido, dado que essa mistura já é utilizada em construções convencionais no Brasil, de alvenaria estrutural

As quantidades, em massa, dos materiais constituintes de cada corpo de prova encontram-se na Tabela 1, expressando o quanto de cada componente foi agregado nas misturas, em gramas. É possível verificar na tabela, também, o traço de cada corpo de prova, que indica as dosagens de cada material que os constituem.

Massa (g)							
	Cimento	Agregados			Água	Plastificante	Traço
		Serragem de Pinus	Isopor	Caixa de Ovo			
CP1	1000	280			600	6	1:0,28:0,6
CP2	500		15		300		1:0,03:2,8:0,3
CP3-A	1000			50	500		1:0,05:0,5
CP3-B	1000			40	500		1:0,04:0,5
CP4	600				1800	300	01:03:01

FONTE: Autoria própria

Tabela 1 – Quantidades em massa dos componentes dos corpos de prova

Após a moldagem dos corpos de prova, iniciaram-se os testes de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova cerca de 14 dias após a desmoldagem. Tendo como referência as notações dos corpos de prova utilizadas anteriormente (CP 1, CP2, etc), têm-se, na Tabela 2, as massas, em gramas, de cada corpo de prova nos momentos em que foram pesados. O tempo zero representa o momento inicial que os materiais foram pesados, ainda secos. Após isso, os tempos 0.5, 1, 2, 3, 6 e 72 horas retratam os períodos em que os corpos foram pesados após serem posicionados na cuba.

	Tempo (h)						
	0	0,5	1	2	3	6	72
CP1	244,83	356,20	358,89	361,52	362,51	364,33	371,32
CP2	345,61	355,46	358,42	362,87	364,89	368,72	374,33
CP3-A	404,11	413,91	415,72	418,74	420,22	423,54	442,14
CP3-B	393,68	405,60	407,86	411,06	412,36	415,75	432,10
CP4	530,06	533,84	534,83	536,53	537,15	539,93	545,98

FONTE: Autorialia própria

Tabela 2 – Medidas das massas dos corpos de prova em cada tempo determinado

Fazendo a análise dos resultados em porcentagem de aumento de massa pela da absorção de água pelos capilares que cada corpo de prova teve, em massa, pode-se notar que o CP4, corpo de prova de referência neste estudo, teve uma incorporação de massa de apenas 3%, enquanto os demais tiveram no mínimo 8,31% de aumento de massa, como é o caso do corpo de prova constituído de isopor, CP2. Os corpos de prova CP3-A e CP3-B, feitos de caixa de ovos, tiveram, respectivamente, 9,41 e 9,75% de adição de massa, enquanto o corpo de prova de serragem de pinus, CP1, teve um acréscimo de massa elevado se comparado aos demais, com 51,66% de massa incorporada por absorção de água pelos capilares.

De acordo com a ABNT NBR 9779, os corpos de prova que sofreram saturação devem ter suas hipóteses descartadas, uma vez que se tornam impróprios para o uso tendo que seus capilares foram inteiramente preenchidos com água. Os corpos de prova foram retirados da cuba e, conforme é possível perceber pelas imagens da FIGURA 4, pode-se constatar que, neste experimento, os corpos de prova CP1 e CP2, compósitos de serragem de pinus e isopor, respectivamente, sofreram saturação e, assim, de acordo com a ABNT NBR 9779, esses devem ser descartados da análise e que qualquer hipótese sobre a utilização desses compósitos deve ser excluída.



FONTE: Autorialia própria

FIGURA 4 – Corpos de prova 72h após o primeiro contato com a água no recipiente

Além disso, pôde-se observar, a partir da ruptura dos corpos de prova, que aqueles que não sofreram saturação apresentam uma faixa seca em seu interior, revelando até onde houve a absorção de água nesses materiais. Assim, na Tabela 3 tem-se as medidas, em centímetros, de tais faixas, verificadas nas extremidades e no centro da seção transversal exposta pela ruptura de cada corpo de prova.

	Faixa seca (cm)			Média
CP3-A	0,184	0,348	0,289	0,27
CP3-B	0,141	0,258	1,132	0,51
CP4	1,168	0,978	0,629	0,93

FONTE: A autora

Tabela 3 – Medidas

Após a verificação das faixas de absorção dos corpos de prova que sofreram saturação, é necessário determinar o índice de absorção de água por capilaridade. O cálculo da absorção de água por capilaridade em corpos de prova, segundo a ABNT NBR 9779, é dado por:

$$C = \frac{A - B}{S}$$

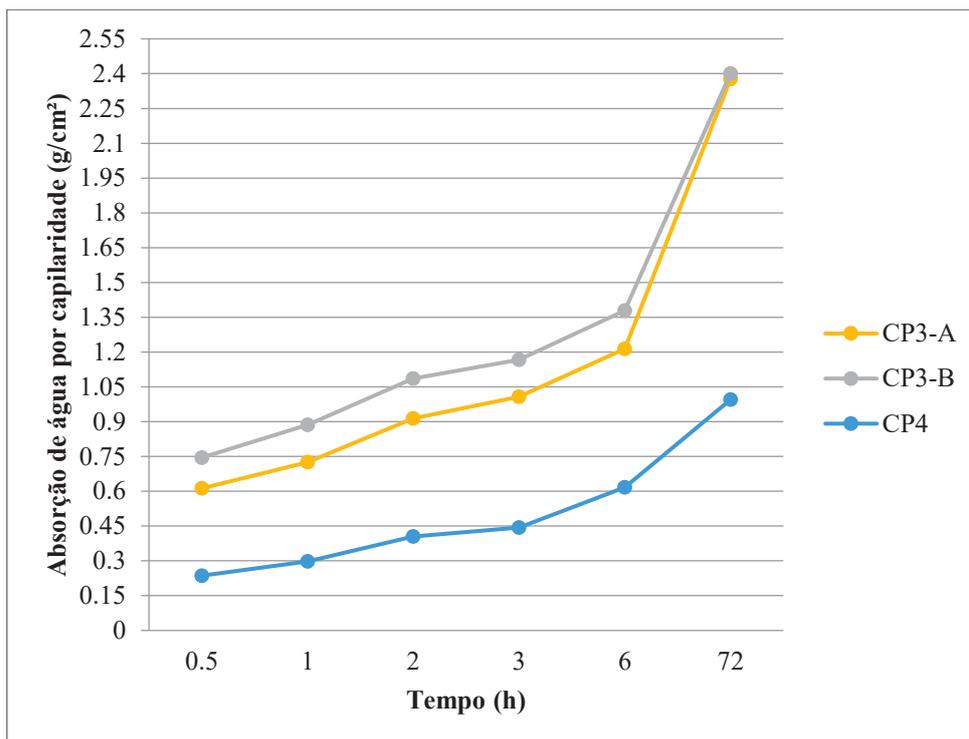
Onde C é a absorção de água por capilaridade [g/cm<sup>2</sup>], A é a massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado [g], B é a massa do corpo de prova no instante zero, ou seja, antes de que esse fosse colocado em contato com a água [g] e S é área da seção transversal do corpo de prova [cm<sup>2</sup>].

Dada a equação citada e que as dimensões dos corpos de prova é de 4 x 4 x 16 cm com área de seção transversal de 16 cm<sup>2</sup>, a Tabela 4 contém a absorção de água por capilaridade de CP3-A, CP3-B e CP4 expressa em g/cm<sup>2</sup> para cada tempo contabilizado após o posicionamento dos corpos de prova na cuba com água, retirando CP1 e CP2 da análise, conforme justificado anteriormente.

	Tempo (h)					
	0,5	1	2	3	6	72
CP3-A	0,6125	0,725625	0,914375	1,006875	1,214375	2,376875
CP3-B	0,745	0,88625	1,08625	1,1675	1,379375	2,40125
CP4	0,23625	0,298125	0,404375	0,443125	0,616875	0,995

FONTE: Autoria própria

Tabela 4 – Medidas de absorção de água por capilaridade em g/cm<sup>2</sup> para cada tempo determinado após o contato dos corpos de prova CP3-A, CP3-B e CP4 com a água



FONTE: Autoria própria

FIGURA 5 – Medidas de absorção de água por capilaridade em  $\text{g/cm}^2$  para cada tempo determinado após o contato dos corpos de prova CP3-A, CP3-B e CP4 com a água

Examinando graficamente os resultados, é possível observar, a partir da FIGURA 5, que o CP4, corpo de prova padrão, composto de cimento e areia, obteve menor absorção de água por capilaridade, enquanto os compósitos de caixa de ovos obtiveram resultados superiores, porém com diferença de apenas  $0,024 \text{ g/cm}^2$  de absorção entre eles no tempo final, de 72 horas.

Na observação dos resultados é possível verificar que a faixa seca do corpo de prova com menor adição de caixa de ovos é maior do que a do CP3-A mas, de acordo com o cálculo do coeficiente de absorção de água por capilaridade, ele é o que apresenta uma maior absorção entre os demais corpos de prova do teste.

Sabendo que as densidades dos corpos de prova de caixas de ovos são diferentes e que suas massas se distinguem por apenas 10 gramas, pode-se considerar mínima e desprezível a diferença do coeficiente de absorção de água por capilaridade e a medida da faixa seca existente nos corpos de prova CP3-A e CP3-B. Portanto, torna-se infactível determinar qual desses dois compósitos apresentaram um melhor desempenho referente a absorção de água por capilaridade.

#### 4. Conclusão

O uso do modelo mental *design thinking* foi adequado e positivo para a agilização do processo de desenvolvimento de produtos, proporcionando uma boa contribuição no que diz respeito a relação direta com a necessidade dos clientes compreendidos neste estudo e também uma maior estruturação nas etapas da elaboração dos compósitos.

Em decorrência dos testes realizados, verificou-se que os compósitos constituídos de serragem de pinus e isopor não são estruturalmente viáveis em elementos que sejam destinados à exposição de umidade, visto que sofreram saturação e, dessa forma, transportam líquidos de um meio para outro.

Em contrapartida, nas análises referentes ao índice de absorção de água por capilaridade e também a medida dos tamanhos de faixa seca dos corpos de prova, além do corpo de prova padrão constituído de cimento e areia, o corpo de prova de caixas de ovos apresentou o melhor desempenho no que diz respeito ao transporte de água no interior do material entre os outros compósitos.

Pode-se aferir, portanto, tendo como referência os dois corpos de prova de caixa de ovo utilizados neste trabalho, que o corpo de prova com maior adição de celulose é melhor, dado que esse tem desempenho semelhante ao que apresenta menos celulose e, sendo assim, pode incorporar uma maior quantidade de material alternativo sem sofrer grandes alterações no desempenho físico. Ainda assim não é possível afirmar se uma adição ou subtração dessas matérias primas nos compósitos resultam em uma performance superior ou inferior referentes a absorção de água nos materiais.

Recomenda-se, assim, um estudo a respeito da absorção de água por capilaridade contendo, nos testes, corpos de prova com diferenças na quantidade de adição de caixas de ovos nos corpos de prova superiores à deste estudo para uma consideração mais precisa a respeito de um melhor ou pior desempenho de acordo com as composições dos compósitos.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, ano.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, ano.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, ano.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, ano.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ano.
- BRASCHER, G. C., SCALISE, R. K., BECKER, D. Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento do Produto. Porto Alegre, 2011.
- BROWN, T. *Design Thinking*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- GARCEZ, M., GARCEZ, E., MACHADO, A., GATTO, D. Avaliação de traços para desenvolvimento de compósitos cimentícios leves com resíduos de madeira. *Revista Árvore*, 2017.
- HILLIG, E., SCHNEIDER, V.E., WEBER, C., TECCHIO, R.D. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. XXVI ENEGEP, 2006.
- KRISHNAN, V., ULRICH, K.T. *Product Development Decisions: A Review of the Literature*. Texas, 2001.
- LANÇAMENTO PANORAMA 2012. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. 2012. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/noticias\\_detalhe.cfm?NoticiasID=1420](http://www.abrelpe.org.br/noticias_detalhe.cfm?NoticiasID=1420)>. Acesso em: Julho. 2018.
- LOCKWOOD, T. *Design Thinking: Integrating Innovation, Customer Experience and Brand Value*. Allworth Press, 2009.

MITAL, A., DESAI, A., SUBRAMANIAN, A., MITAL, A. *Product Development: A Structured Approach to Consumer Product Development, Design, and Manufacture*. 2008.

MOSLEMI, A. A., *Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. Advanced Performance Materials*, v. 6, p. 161-179, 1999.

MUNDIM, A. P. F., ROZENFELD, H., AMARAL, D.C., SILVA, S. L., GUERRERO, V., HORTA, L. C. Aplicando o Cenário de Desenvolvimento de Produtos em um Caso Prático de Capacitação Profissional São Carlos, 2002.

NO BRASIL, 80% DAS CIDADES NÃO DÃO DESTINAÇÃO CORRETA AO LIXO, DIZ ENTIDADE DO SETOR. REVISTA ENCONTRO. 2018. Disponível em: <<https://www.revistaencontro.com.br/canal/atualidades/2018/01/80-das-cidades-nao-lidam-direito-com-o-lixo.html>> Acesso em: Julho. 2018.

O DRAMA DO LIXO: BRASILEIRO JÁ PRODUZ 383 QUILOS POR ANO. LEIA. 2018. Disponível em: <<http://blog.leia.org.br/o-drama-do-lixo-brasileiro-ja-produz-383-quilos-por-ano/>> Acesso em: 24 de set. De 2019.

PARANHOS, A., VECHIA, D., BELTRAME, M. Capilaridade: um fenômeno de superfície com aplicações cotidianas. VIII Encontro Latino Americano de Pós Graduação. 2008.

PINHEIRO, T. *Design Thinking: empatia, colaboração e experimentação para pessoas, negócios e sociedade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

RUMO A 4 BILHÕES DE TONELADAS POR ANO. SENADO FEDERAL 2014. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/residuos-solidos/materia.html?materia=rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano.html>> Acesso em: 24 de set. De 2019.

SANTOS, F. I. G., ROCHA, J. C., CHERIAF, M. Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas. *Revista Matéria*, v. 12, n. 2, pp. 253 – 268, 2007.

VIANNA, M. J., FILHO, Y. V. e S., ADLER, I. K., LUCENA, B. de F., RUSSO, B. *Design Thinking: inovação em negócios*. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012.

**APÊNDICE 4 – Resumo expandido produzido em 2019 para o 8th International Workshop**  
Advances in Cleaner Production



**8th International Workshop**  
**Advances in Cleaner Production**

Coupling Green to Blue Economies:

How are cleaner production and cities leading the next sustainable development?

<https://easychair.org/conferences/?conf=8thiwacp>



**The use of MSW for composites' production for building fencing panels' manufacture at Curitiba-Brazil.**

Janilce Negrão<sup>1,†</sup>, Thaísa L. Pilz<sup>2</sup>, Nicolle C. Sotsek<sup>1</sup>, Adriana de P.L Santos<sup>1</sup>, Marcell M.C. Maceno<sup>1</sup>, Marcelo H.F. Medeiros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Paraná, Post-Graduation Program in Civil Construction Engineering, Curitiba, 81530-000 Brazil

<sup>2</sup>University of Paraná, Post-Graduation Program in Production Engineering, Curitiba, 81530-000 Brazil

**Abstract**

Based on the need to adapt civil construction procedures to the precepts of the ONU's 2030 agenda, this study had as objective to develop composites with the purpose of being used for the construction of building fencing panels. Considering Brazil as one of the countries that generates large quantities of MSW - Municipal Solid Waste and generates high waste rates in the civil construction processes, solutions are sought for the use of MSW as proposals of new composites that are produced from such waste. Staying in the SDG - Sustainable Development Goals: "GOAL 11: SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES - There needs to be a future in which cities provide opportunities for all, with access to basic services, energy, housing, transportation and more; GOAL 12: RESPONSIBLE PRODUCTION AND CONSUMPTION - Responsible Production and Consumption" were considered discarded materials with no commercial or recycling value, easy access and compatible with traditional buildings' construction material.

During the material's development, the focus was on the use of discarded materials mainly from MSW. For this, an agreement was signed between UFPR - Federal University of Paraná and a local MSW separation cooperative, and two material types stood out during the waste's separation: paper, cardboard and EPS - Expanded Polystyrene. In this study, the presentation of a new composite and tests performed through experiments and laboratory evaluations, was considered based on a standard composition and two types of cementitious mortar. One, enriched with cellulose fibers; the other, with addition of EPS from waste disposal household. The alternatives developed were tested considering the Brazil's technical norms in order to verify the new composite's characteristics to meet the purpose proposed in this study.

The experiment had as preliminary step the preparation of prismatic specimens for the verification of mechanical characteristics, NBR13279/05, water absorption by capillarity, NBR9779/12, ultrasonic propagation and testimony for SEM - Scanning Electron Microscope. The research's steps were

<sup>†</sup> Corresponding author.

Email address: [janilce@janilce.com](mailto:janilce@janilce.com)

developed from the formulation and preparation of composites with different traces, and a standard trace of cement, sand and water, in the proportion of 1:3, was defined, with the ratio (water / cement) A/C fixed at 0,5. The proportions of the addition materials relative to the Portland cement were given from 0,05 cellulose fibers varying in increasing scale until reaching the ratio of 0,1. For the composite with addition of EPS, the proportion was from 0,02 EPS in pellets, with increasing variation until reaching 0,04 of addition material.

The tests' partial results already reached for mechanical resistance, absorption by capillarity and electron microscopy have led to the conclusion that there is feasibility for the use of materials chosen research's development. Considering the resistances, with the ages of 14 and 28 days, it was possible to notice that the average of the results achieved were close to the reference values established by the standard trait. With this procedure, it was possible to verify that, for the proportion of 0.1 cellulose fibers in relation to the amount of mixture's cement, there was a significant decay of the compressive strength, leading to the conclusion that fiber addition values above this, limits the quality of the new composite. For the composite based on EPS addition, preliminary results indicated that the composition in which the material was added, considering the presence of sand, performed better than that in which the presence of this material was eliminated. The results of the capillary water absorption tests were determined by the adaptation of NBR9779 / 12. Thus, the verification had reading intervals for the determination of specimens' mass, 30 minutes after the specimens were placed in the test cell, 1, 2, 3, 6 24, 36, 48 and 72 hours counted from the placement of these in contact with water. After the mass check in the 72 hours interval, each specimen was ruptured to analyze the water absorption from the inside. After that, dry band measurements inside the specimens were verified with the use of a digital caliper. Measurements were taken at the ends and at the center of the body proof's cross section. The average values of the readings indicated that the composite having the addition of cellulose fibers had a capillary water absorption index (C) suitable to make constructive elements for civil construction fence.

As a result, it is expected that innovative products will be developed, in which domestic dry waste and disposal materials are used as feedstock to produce building sealing panels. The research is underway, and it is intended, after verifying the results testing new specimens for composite's performance evaluation in construction system's elements.

**Keywords:** Sustainable buildings; waste's materials; materials' performance; new composites; building fencing panels, Brazil.