

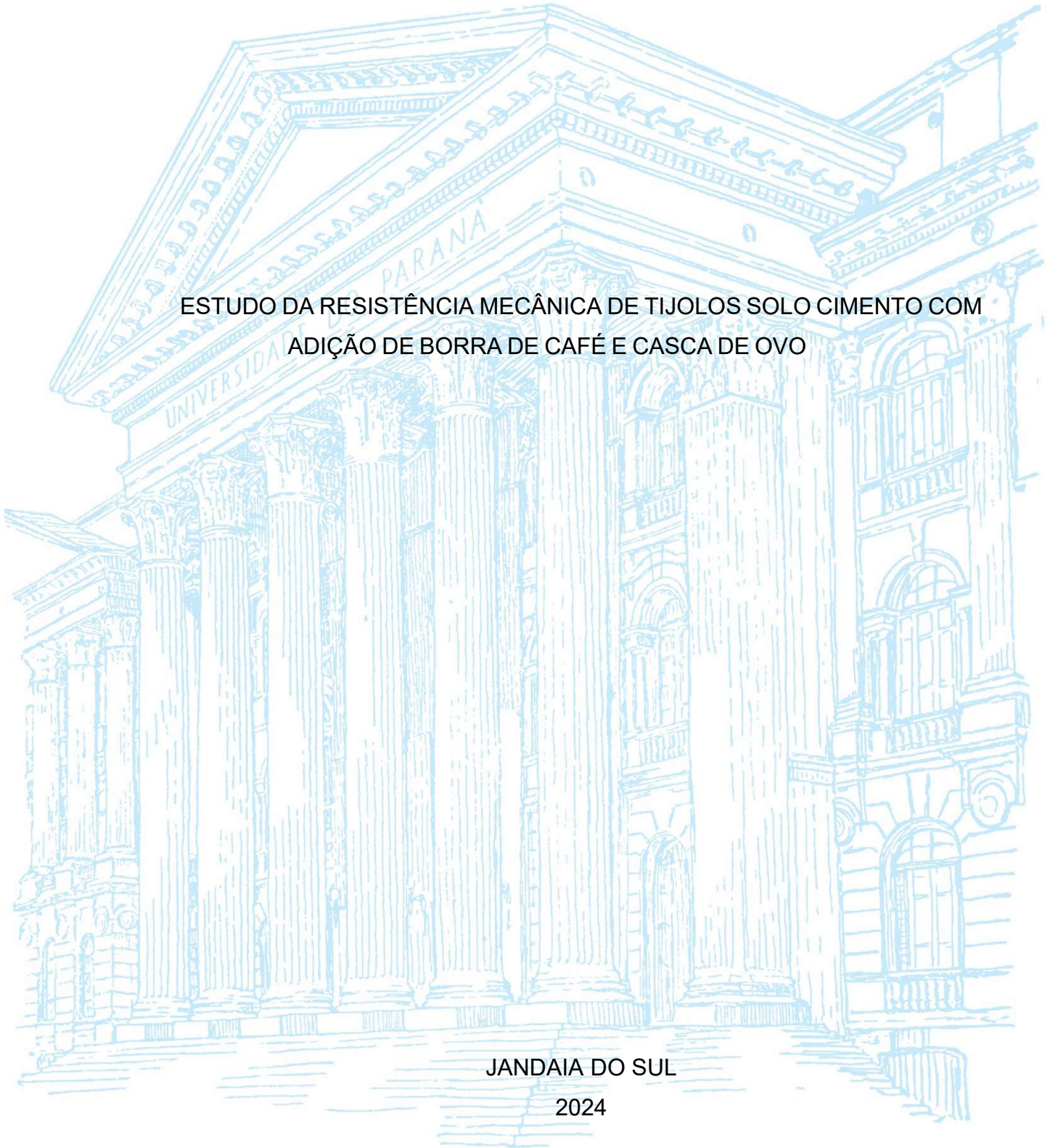
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUDRYENE DOS SANTOS FERREIRA

ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE TIJOLOS SOLO CIMENTO COM
ADIÇÃO DE BORRA DE CAFÉ E CASCA DE OVO

JANDAIA DO SUL

2024



Gudryene dos Santos Ferreira

ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE TIJOLOS SOLO CIMENTO COM
ADIÇÃO DE BORRA DE CAFÉ E CASCA DE OVO

TCC apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola, campus de Jandaia do sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi.

JANDAIA DO SUL

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Ferreira, Gudryene dos Santos

Estudo da resistência mecânica de tijolos solo cimento com
adição de borra de café e casca de ovo. / Gudryene dos Santos
Ferreira. – Jandaia do Sul, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná,
Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Justi.

1. Tijolo solo-cimento. 2. Sustentabilidade. 3. Resistência. 4.
Borra de café. 5. Casca de ovo. I. Justi, André Luiz. II. Universidade
Federal do Paraná. IV. Título.

CDD: 631

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747

TERMO DE APROVAÇÃO

GUDRYENE DOS SANTOS FERREIRA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 01/2024/UFPR/R/JA/CCEAG
PROCESSO Nº 23075.071462/2024-19
INTERESSADO: @INTERESSADOS_VIRGULA_ESPACO@

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE TIJOLOS SOLO CIMENTO COM ADIÇÃO DE BORRA DE CAFÉ E CASCA DE OVO

Autor(a): GUDRYENE DOS SANTOS FERREIRA (GRR20197126)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, aprovado pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. André Luiz Justi (Orientador)

Prof. Dr. Rafael Germano Dal Molin Filho

Prof. Lucas Grogenski Meloca



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL GERMANO DAL MOLIN FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/12/2024, às 11:26, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ JUSTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/12/2024, às 14:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Grogenski Meloca, Usuário Externo**, em 11/12/2024, às 15:35, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **7334009** e o código CRC **288E40E9**.

Dedico este trabalho aos meus pais, que com muita luta e sacrifício criaram seus filhos e incentivaram eles a seguirem seus objetivos. Não foi fácil chegar até aqui, porém sou imensamente grata por sempre acreditarem nos meus sonhos e me incentivarem, não importando a distância.

Aos meus avós, que com sua sabedoria e carinho, me ensinaram o verdadeiro significado de perseverança e humildade. Seus exemplos de vida foram fundamentais para minha trajetória até aqui.

Ao meu noivo, pela paciência, compreensão e apoio incondicional. Nos conhecemos no terceiro ano da faculdade e, desde então, seu amor e companheirismo foram essenciais para que eu superasse os desafios dessa jornada. Esta conquista é também sua, pois sem você ao meu lado, nada disso seria possível. Te amo e mal posso esperar para o que está por vir.

A todos vocês, meu eterno agradecimento. Este trabalho é uma homenagem ao esforço, amor e dedicação de cada um de vocês.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar a oportunidade de trilhar meu sonho.

Ao campus avançado de Jandaia do sul, sendo realizado parte deste trabalho nas dependências do campus, tendo apoio dos colaboradores da Universidade.

Ao Professor André Luiz Justi, orientador deste trabalho onde desejo manifestar um especial agradecimento pelo apoio constante desde o primeiro momento em que tive uma orientação acadêmica, os ensinamentos prestados juntamente com o incentivo. Deixo expresso o meu reconhecimento a todos os colegas e servidores da UFPR, do curso de Engenharia Agrícola, que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho. Não poderia deixar de destacar meus amigos de curso, especialmente Yago, Naiara e Emanuely, que estiveram ao meu lado, compartilhando os desafios, as vitórias e os momentos de aprendizado. A amizade e o apoio de vocês foram essenciais e me ajudaram a seguir em frente nos momentos mais difíceis.

Ao técnico do laboratório de máquinas, Silvio Pomin, que sempre esteve à disposição e muitas vezes ultrapassou suas obrigações para me ajudar.

A equipe da PRAE, a pedagoga Mariane Ramos, a assistente social Keury Sestari e a auxiliar administrativa Andressa Almeida, pelos inúmeros momentos que compartilhamos desde que fui acolhida nos meus primeiros dias de aula na UFPR.

Por último, o maior agradecimento é dirigido à minha família e ao meu noivo, toda a motivação e apoio que sempre me proporcionaram ao longo desta trajetória, vai ser sempre lembrada por toda a minha vida.

"É justo que muito custe o que muito vale."
(Santa Teresa d'Ávila, século XVI)

RESUMO

O crescimento populacional e o aumento do consumo de materiais, aliado à extração de recursos naturais, têm gerado impactos ambientais significativos, especialmente no setor da construção civil, que é um dos maiores geradores de resíduos. Nesse cenário, a busca por materiais e processos sustentáveis tem se tornado um dos principais desafios. O tijolo solo-cimento se apresenta como uma alternativa viável, pois é produzido sem a necessidade de queima, o que reduz significativamente as emissões de poluentes, além de ser econômico e eficiente, utilizando solo local e oferecendo vantagens como leveza, conforto térmico e acústico, e redução de custos na construção. Este estudo teve como objetivo investigar a influência da adição de resíduos como borra de café e casca de ovo na resistência mecânica de tijolos ecológicos. Os resíduos, de fácil obtenção, são uma solução potencial para a redução de desperdício e para a melhoria das características dos tijolos, como durabilidade e resistência à compressão. A pesquisa incluiu a caracterização do solo utilizado, que apresentou uma composição argilosa, e a preparação de tijolos com diferentes proporções de resíduos (0%, 10%, 30% e 50%) de borra de café e casca de ovo, misturados com cimento. Após a cura dos tijolos, foram realizados ensaios de compressão para avaliar sua resistência. Os resultados indicaram que a adição de casca de ovo teve um impacto positivo na resistência à compressão, especialmente nas concentrações de 10% e 30%, enquanto a borra de café dificultou a homogeneização da mistura, resultando em menor resistência. A casca de ovo mostrou-se promissora como agregado sustentável, podendo ser usada para aprimorar as propriedades mecânicas dos tijolos. Esse estudo contribui para a pesquisa de materiais ecológicos na construção civil, apontando o uso de resíduos como uma alternativa viável e sustentável para a produção de tijolos com menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Tijolo solo-cimento; Sustentabilidade; Resistência; Borra de café; Casca de ovo

ABSTRACT

Population growth and increased consumption of materials, combined with the extraction of natural resources, have generated significant environmental impacts, especially in the construction sector, which is one of the largest generators of waste. In this context, the search for sustainable materials and processes has become one of the main challenges. Soil-cement bricks present a viable alternative as they are produced without the need for firing, which significantly reduces pollutant emissions. Additionally, they are economical and efficient, using local soil and offering advantages such as lightness, thermal and acoustic comfort, and reduced construction costs. This study aimed to investigate the influence of adding residues such as coffee grounds and eggshells on the mechanical strength of ecological bricks. These residues, which are easy to obtain, provide a potential solution for waste reduction and improving brick characteristics such as durability and compressive strength. The research included characterizing the used soil, which showed a clayey composition, and preparing bricks with different proportions of residues (0%, 10%, 30%, and 50%) of coffee grounds and eggshells mixed with cement. After curing the bricks, compression tests were conducted to evaluate their strength. The results indicated that the addition of eggshells had a positive impact on compressive strength, especially at concentrations of 10% and 30%, while coffee grounds hindered the homogenization of the mixture, resulting in lower strength. Eggshells proved to be a promising sustainable aggregate, potentially used to enhance the mechanical properties of bricks. This study contributes to the research on ecological materials in the construction industry, highlighting the use of waste as a viable and sustainable alternative for producing bricks with lower environmental impact.

Keywords: Soil-cement brick; Sustainability; Strength; Coffee grounds; Eggshells.

LISTA DE FIGURAS

Nenhuma entrada de sumário foi encontrada.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUOS	35
GRÁFICO 2 – COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COM ADIÇÃO DE BORRA DE CAFÉ E CASCA DE OVO PELA SUA CONCENTRAÇÃO	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DIMENSÃO DAS PARTÍCULAS	25
TABELA 2 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL TIPO	31
TABELA 3 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL CONCENTRAÇÃO	33
TABELA 4 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ENTRE SCCO E SCBC NA CONCENTRAÇÃO DE 10%	37
TABELA 5 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ENTRE SCBC E SCCO NA CONCENTRAÇÃO DE 30%	37
TABELA 6 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ENTRE SCBC E SCCO NA CONCENTRAÇÃO DE 50%	38
TABELA 7 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS NO TRATAMENTO SCBC EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES	39
TABELA 8 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS NO TRATAMENTO SCCO EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES	39

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cmolc Kg-1 - Centímol por Quilograma
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IEA - Índice de Eficiência Administrativa
NBR - Norma Brasileira
pH - Potencial Hidrogeniônico
SC – Solo Cimento
SCBC – Solo Cimento com Borra de Café
SCCO – Solo Cimento com Casca de Ovo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA.....	18
1.2 OBJETIVO GERAL	19
1.2.1 Objetivos específicos.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 SOLO.....	16
2.2 BORRA DE CAFÉ.....	17
2.3 CASCA DE OVOS	18
2.4 CIMENTO PORTLAND COMO AGLOMERANTE	19
2.4.1 Cura.....	21
2.5 TIJOLO ECOLÓGICO E TRAÇOS UTILIZADOS	22
2.6 ENSAIO À COMPRESSÃO SIMPLES	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Cronograma de execução.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS	44
APÊNDICE 1 – DADOS BRUTOS DO EXPERIMENTO.....	46

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, junto com o aumento do consumo de materiais, serviços e a extração de recursos naturais, tem gerado um forte impacto ambiental. Um dos setores que mais contribui para a produção de resíduos é a construção civil. A crescente preocupação com as questões ambientais tem levado à busca por materiais e processos sustentáveis e, entre os materiais essenciais nesse setor, destaca-se o tijolo (SOARES *et al*, 2024).

Partindo da definição da ABNT NBR 8491 (2012), o tijolo de solo-cimento é um “Elemento de alvenaria cujo volume é igual ou superior a 85% de seu volume total aparente e constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos em proporções que permitam atender às exigências da norma”. Segundo o trabalho de SILVA(2015), o tijolo solo-cimento, ou ecológico, tem se destacado como um dos principais materiais inovadores na construção civil, oferecendo uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de construção que dependem fortemente de recursos naturais e processos intensivos em energia. A fabricação de tijolos convencionais exige a queima de grandes quantidades de combustíveis fósseis, resultando em emissões significativas de CO₂. Em contraste, o tijolo solo-cimento não requer esse processo de queima, diminuindo drasticamente as emissões de gases de efeito estufa. Os tijolos solo-cimento utilizam solo disponível localmente, promovendo a conservação de ecossistemas e a redução da exploração de áreas naturais para a extração de matérias-primas. O processo de produção desses tijolos também utiliza menos água, ajudando a conservar esse recurso vital, especialmente em regiões onde a água é escassa. Devido às propriedades térmicas do solo, os tijolos solo-cimento oferecem melhor isolamento térmico, resultando em edifícios mais eficientes em termos energéticos e reduzindo a necessidade de aquecimento e resfriamento artificiais.

Utilizando técnicas de fabricação de solo-cimento padronizadas pela ABNT, ele oferece diversos benefícios para obras de pequeno e médio porte. Esse produto pode ter caráter estrutural ou não, passando por testes destrutivos que asseguram sua resistência, de acordo com as proporções e dimensões estabelecidas durante a fabricação. Além disso, permite uma variedade de acabamentos, permitindo que o cliente escolha conforme suas preferências, proporcionando satisfação e conforto (GODOI, 2012).

Ainda neste âmbito, os tijolos solo-cimento surgem como uma boa opção para construções pois são produzidos a partir de uma mistura de solo, cimento e água, sem a necessidade de queima em fornos, como ocorre com os tijolos convencionais. Isso significa que sua produção é menos poluente e mais enérgica. Além disso, os tijolos de solo-cimento utilizam como matéria-prima o solo local, o que reduz os custos de transporte e impacto ambiental. Uma das vantagens empregadas também é a estabilidade térmica e acústica, proporcionando um conforto ambiental maior nas construções. Também comparado com tijolos convencionais, os tijolos solo-cimento são mais leves, facilitando o transporte e manuseio durante a construção. Deste modo, os tijolos de solo-cimento propiciam maior rapidez no processo construtivo e economia de materiais e mão-de-obra. Estima-se que esses tijolos podem proporcionar uma redução de 30 a 40% no custo final de uma obra (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007). Esses números foram obtidos a partir de estudos comparativos que analisaram o custo dos materiais e processos de construção tradicional versus o uso de tijolos de solo-cimento. Os pesquisadores consideraram fatores como o custo da matéria-prima, a energia necessária para a produção, a logística de transporte e a mão-de-obra.

Segundo Grande (2003), há uma importância da inovação e da sustentabilidade nas construções em geral, já que o uso eficiente de novas ferramentas, a reciclagem de resíduos e a eliminação do desperdício são desafios cruciais enfrentados por pesquisadores, engenheiros, arquitetos e a sociedade. O autor ainda ressalta o papel do solo como um material de construção versátil e econômico, usado em uma variedade de construções ao longo da história. Além disso, destaca-se também a durabilidade e a estabilidade estrutural das construções feitas com materiais derivados do solo, bem como a importância cultural da alvenaria como sistema construtivo, com o tijolo sendo o componente pré-moldado mais antigo e amplamente utilizado.

A busca por novas fontes de matéria-prima e por processos que reduzam o impacto ambiental, além da crescente escassez de recursos naturais, são preocupações relevantes para o setor da construção civil. A adição de resíduos na produção, o desenvolvimento sustentável e a eliminação do desperdício nos canteiros de obras, representam desafios que precisam ser enfrentados (GONÇALVES et al., 2006).

Frente a isto, este trabalho tem como foco a análise da resistência mecânica do tijolo solo-cimento com a adição de dois resíduos domésticos comuns, borra de café e cascas de ovo, buscando identificar vantagens e desvantagens da adição desses resíduos, e observar seu comportamento em relação ao tijolo ecológico. As implicações sociais e econômicas do uso de tijolos ecológicos são vastas e significativas. Em termos sociais, a produção de tijolos solo-cimento com adição de resíduos domésticos pode promover a geração de empregos locais, especialmente em comunidades rurais ou menos desenvolvidas, onde a matéria-prima está prontamente disponível. Este tipo de produção descentralizada pode fomentar a economia local, criando oportunidades de trabalho e capacitação profissional para a população.

Do ponto de vista econômico, os tijolos ecológicos representam uma alternativa de baixo custo para a construção civil. A utilização de materiais abundantes e de resíduos que, de outra forma, seriam descartados, pode reduzir os custos de produção.

1.1 PROBLEMA

No Brasil e no mundo, a produção de resíduos sem destinação adequada atinge números significativos, representando não apenas um desafio econômico devido ao desperdício, mas também um grave problema ambiental. (CAIXETA et al., 2010). Entre os muitos tipos de resíduos gerados, a borra de café e as cascas de ovo são comuns em residências e frequentemente acabam em aterros sanitários, contribuindo para a sobrecarga desses locais e para a emissão de gases de efeito estufa. De acordo com Fittipaldi (2008), adotar uma arquitetura sustentável que utilize tijolos de solo-cimento e resíduos provenientes do entorno é uma abordagem mais consciente para garantir um futuro viável. Construções feitas com solo-cimento não apenas proporcionam excelente conforto térmico, devido à alta massa das paredes que confere inércia térmica, mas também apresentam bom desempenho acústico. A adição de resíduos, como borra de café e cascas de ovo, promove a reciclagem na construção, uma vez que não geram entulhos (PEREIRA & PEZUTO, 2010).

Este trabalho busca investigar a possibilidade de utilização desses resíduos na produção de tijolos ecológicos. A questão central é determinar se a adição de borra

de café e casca de ovo pode melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos, tornando-os uma alternativa viável e sustentável na construção civil.

1.2 OBJETIVO GERAL

O propósito deste trabalho foi promover a fabricação de tijolos de solo-cimento utilizando materiais e equipamentos comuns na produção de corpos de prova para concreto, incorporando borra de café e cascas de ovo. A proposta focou em avaliar a resistência mecânica desses tijolos ecológicos produzidos, buscando analisar a influência desses resíduos como aditivos. Além disso, o estudo procurou proporcionar uma possível destinação para os resíduos, desenvolvendo um produto alternativo com características mecânicas similares aos tijolos ecológicos, visando sua aplicação em construções de pequeno e médio porte. Outro ponto crucial foi avaliar o potencial desta prática para reduzir o consumo de cimento na fabricação dos tijolos, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental associado à produção de materiais de construção e ao custo do material.

A borra de café e as cascas de ovo são alternativas interessantes do ponto de vista da facilidade em se achar, pois são resíduos amplamente disponíveis, especialmente em áreas rurais e urbanas, onde são descartados em grandes quantidades.

1.2.1 Objetivos específicos

Estudar os materiais a serem empregados na confecção de tijolos solo-cimento com resíduos de borra de café e casca de ovo e suas respectivas proporções.

- Produzir tijolos de solo-cimento com adição de borra de café e casca de ovo.
- Relacionar a tecnologia da fabricação de tijolos de solo-cimento com o contexto de construção sustentável e aproveitamento de resíduos industriais.
- Sistematizar informações para a elaboração de um projeto tecnológico com os tijolos.
- Avaliar a resistência mecânica que cada adição gera.

1.3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho se justifica com a base no atual cenário da construção civil, mais precisamente na área de construções rurais onde se consome certos recursos naturais e energia. Nesse contexto, a busca por materiais de construção sustentáveis e de fácil acesso torna-se uma necessidade. Os tijolos de solo-cimento já surgem como uma alternativa viável, pois utilizam materiais abundantes e de baixo custo, além de apresentarem um processo de produção menos prejudicial ao meio ambiente. Quando são incluídas nesses materiais a adição de resíduos, construímos pontos relevantes para a utilização na construção.

No entanto, a resistência dos tijolos de solo-cimento é um ponto de discussão entre os profissionais da área. Alguns estudos, como o de Pereira e Pezuto (2010), indicam que esses tijolos podem não ser tão resistentes quanto os tijolos convencionais, destacando preocupações sobre a durabilidade e a capacidade de suportar cargas pesadas. Por outro lado, pesquisas como a de Silva (2015) sugerem que, com a correta dosagem e compactação, os tijolos de solo-cimento podem alcançar resistências comparáveis ou até superiores às dos tijolos tradicionais.

Diante dessa controvérsia, torna-se necessária uma análise detalhada da resistência dos tijolos de solo-cimento com a adição de borra de café e cascas de ovo. A proposta deste estudo é investigar como esses resíduos podem afetar as propriedades mecânicas dos tijolos ecológicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, foram estruturados os temas fundamentais para o embasamento necessário ao trabalho. O subcapítulo sobre solo aborda sua definição, composição e importância para os tijolos ecológicos. Em seguida, é discutido o reaproveitamento da borra de café, destacando suas propriedades e usos sustentáveis. A casca de ovo também é analisada, mostrando seus benefícios na construção civil e na gestão de resíduos. O subcapítulo sobre cimento Portland como aglomerante explora sua história, composição e diferentes tipos utilizados no Brasil. A cura do cimento e os traços utilizados nos tijolos ecológicos são detalhados, culminando com o ensaio à compressão simples, essencial para avaliar a resistência do material produzido.

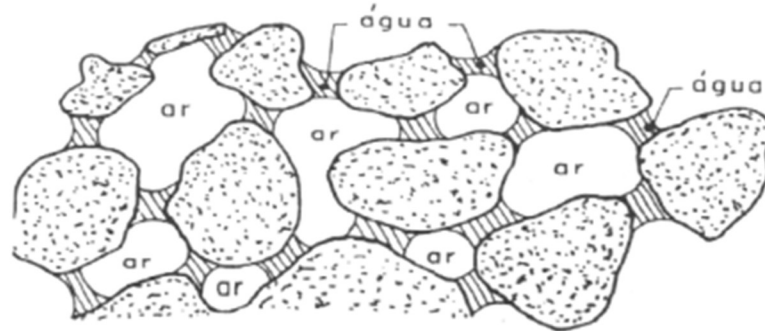
2.1 SOLO

Segundo Santos *et. al.* (2018), pode-se definir o solo como uma:

“coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.”

A maneira como cada tipo de solo se comporta é influenciada pela interação entre suas partículas sólidas. Essa interação modifica as proporções volumétricas de seus componentes (sólidos, ar e água), fazendo com que o solo se diferencia entre si, como mostra a figura 1.

FIGURA 1 – ESTRUTURA DO SOLO.



FONTE: Grande (2003).

A composição predominante dos tijolos é constituída pelo solo, representando entre 90% e 93% de sua composição (MARQUES, 2020), variando conforme o tipo de traço selecionado. Antes de realizar a análise, é crucial que o solo esteja com baixa umidade, desagregado, peneirado e livre de matéria orgânica. Segundo Antunes (2008), o excesso de matéria orgânica retarda as reações que promovem a pega e o endurecimento do cimento *Portland*.

De acordo com a ABCP (2000), a escolha do solo ideal é determinada pela quantidade mínima de cimento necessária para alcançar a estabilidade desejada. De acordo com Soma (2012) é importante o solo apresentar um teor de areia entre 45% e 50%, enquanto a argila é necessária em pequenas quantidades apenas para proporcionar a ligação necessária à desmoldagem do tijolo e ao manuseio.

Conforme consta no Boletim Técnico 111 (ABCP, 2000) são estabelecidas as características ideais dos solos para a fabricação de tijolos de solo-cimento, incluindo a passagem de 100% do material pela peneira ABNT nº 4 (4,8 mm), 10% a 50% pela peneira ABNT nº 200 (0,075 mm), limite de liquidez $\leq 45\%$ e limite de plasticidade $\leq 18\%$.

2.2 BORRA DE CAFÉ

O consumo de café no Brasil, que supera 21,5 milhões de sacas em 2021, resulta em uma quantidade significativa de borra, um resíduo frequentemente descartado em lixões ou aterros sanitários (ABIC, 2021). Segundo Benicá (2019), a borra de café é composta majoritariamente por carboidratos, como celulose e hemicelulose, que representam mais da metade de sua composição.

O reaproveitamento da borra de café para a fabricação de tijolos ecológicos não apenas mitiga o impacto ambiental do descarte inadequado, mas também agrega valor a um material que, de outra forma, seria considerado lixo. Pesquisas indicam que a borra pode melhorar propriedades mecânicas dos tijolos, tornando-os mais leves e isolantes (Mussatto *et al.*, 2011). A utilização de polissacarídeos presentes na borra, como a hemicelulose e a celulose, pode atuar como um agente aglutinante, contribuindo para a estrutura dos tijolos.

Além da sua aplicação na construção civil, a borra de café já tem sido utilizada em diversas iniciativas sustentáveis. Ela é aplicada como abrasivos leves, na formulação de tintas e corantes (GREENME, 2019; HONG, 2018), e em biocombustíveis e carvão ativado (KONDAMUDI *et al.*, 2008; KEMP *et al.*, 2015). No Brasil, parcerias como a da *Braskem* com a *Starbucks* demonstram a viabilidade do reaproveitamento da borra na produção de Plástico Verde, exemplificando como resíduos podem ser transformados em novos produtos (Braskem, 2015).

O uso de borra de café como carga de enchimento em matrizes poliméricas também é uma área de crescente interesse. Estudos indicam que a adição de borra em compósitos de poli(ácido láctico) (PLA) melhora a adesão entre os materiais e a resistência à água, além de aumentar a biodegradabilidade do produto final (Baek *et al.*, 2013; Wu, 2015).

A incorporação de borra de café na produção de tijolos ecológicos não apenas pode contribuir para a gestão eficiente de resíduos, mas também promover práticas sustentáveis na construção civil. Essa abordagem destaca a importância da inovação na transformação de resíduos em recursos, alinhando-se aos princípios da economia circular e da sustentabilidade.

2.3 CASCA DE OVOS

A adição de casca de ovo na produção de tijolos ecológicos representa uma inovação significativa tanto na construção civil quanto na gestão de resíduos. A avicultura de postura no Brasil, que tem se expandido continuamente, gerou em 2021 cerca de 3,98 bilhões de dúzias de ovos (IBGE, 2021). Isso resulta em uma quantidade considerável de resíduos, como as cascas de ovos, que, quando descartadas de maneira inadequada, podem contribuir para a degradação ambiental.

Estudos apontam que a industrialização de ovos gera a oportunidade de reutilizar esses resíduos, promovendo uma economia circular. A transformação das cascas de ovo em tijolos ecológicos não só mitiga o impacto ambiental da avicultura, mas também agrega valor a este subproduto (LADU *et al.*, 2021). A casca de ovo, tem a tendência de melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos, conferindo-lhes resistência e durabilidade por conta de sua composição apresentar cálcio ao mesmo tempo em que reduz a necessidade de matérias-primas tradicionais, como a argila.

Além disso, o uso de cascas de ovos na fabricação de tijolos pode contribuir para a sustentabilidade do setor da construção civil. Essa prática não apenas ajuda na gestão de resíduos, mas também alivia a pressão sobre os recursos naturais. Os tijolos ecológicos, portanto, emergem como uma solução viável para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos.

2.4 CIMENTO PORTLAND COMO AGLOMERANTE

Conforme grande (2003), a palavra cimento é derivada da palavra latina *caementum*, que os romanos denominavam a mistura de cal com terra pozolana (cinzas vulcânicas das ilhas gregas de Santorim e da região de Pozzuoli, próximo a Nápoles), resultando em uma massa aglomerante utilizada em obras de alvenaria, pontes e aquedutos.

Segundo bugalho (2000), a invenção que transformou a indústria da construção foi o cimento Portland, patenteado pelo inglês Joseph Aspdin em 1824. Porém este cimento era diferente do material usado pelos romanos, não só na composição como também nas propriedades. Apesar de seu nome ser inspirado pelas rochas calcárias da ilha de Portland devido à similaridade na cor e textura, o cimento Portland moderno é resultado de uma evolução contínua baseada em pesquisas e avanços tecnológicos.

O cimento é categorizado como um aglomerante hidráulico, isto é, tem a propriedade de endurecer e adquirir resistência após a adição de água, não necessitando da presença do ar para essa fase. A sua produção envolve a trituração do clínquer, um material granular duro que é formado após a calcinação de uma combinação de calcário, argila e minério de ferro com a adição de gesso, a fim de controlar o início do processo de hidratação, e de outros aditivos que determinam os diferentes tipos de cimento disponíveis no mercado.

Segundo NEVILLE (1997), a fabricação do cimento Portland implica a trituração da matéria-prima, a sua combinação em proporções específicas e a sua subsequente queima em fornos rotativos a altas temperaturas. A queima resulta na formação do clínquer, que após ser triturado, se transforma em cimento. Para regular a velocidade de pega e o processo de endurecimento, adiciona-se gesso ao material. Outras adições podem incluir escória de alto forno, cinzas volantes e sílicas ativas.

A base do clínquer, e consequentemente do cimento, é constituída por compostos anidros específicos, tais como silicato tricálcico (C3S), silicato dicálcico (C2S), aluminato tricálcico (C3A), e ferro aluminato tetracálcico (C4AF). As propriedades desses componentes do cimento em hidratação são as seguintes:

Silicato tricálcico (C3S) - principal responsável pela resistência mecânica em todas as idades após fabricação, especialmente até o 1º mês de cura (presença de 42% a 60%);

Silicato bicálcico (C2S) - responsável pela resistência mecânica em idades mais avançadas e, consequentemente, da durabilidade do material (presença de 14% a 35%);

Aluminato tricálcico (C3A) - contribui para a resistência inicial. Libera uma grande quantidade de calor de hidratação. Por apresentar uma grande rapidez de pega é regularizado pela adição de gesso (presença de 6% a 13%);

Ferro aluminato tetracálcico (C4AF) - não contribui para a resistência mecânica. Apresenta boa resistência ao ataque de sulfatos (presença de 5% a 10%).

Esses silicatos apresentam uma velocidade de reação muito variável com a água. Para que 80% de cada um possa se hidratar deve-se esperar intervalos de tempos da ordem de: 6 dias (C3A), 10 dias (C3S), 50 dias (C4AF) e 100 dias (C2S). O aumento gradual da resistência pode se prolongar por vários anos.

No Brasil, o cimento deve cumprir certos parâmetros técnicos definidos pelas normas ABNT. As normas NBR 5735 e NBR 5736, por exemplo, especificam os

requisitos para cimentos Portland de Alto-Forno e Pozolânico respectivamente, assegurando que esses materiais cumpram os padrões de qualidade e segurança necessários para a sua utilização na construção civil. No Brasil, são produzidos cinco tipos de cimento Portland, que possuem a seguinte nomenclatura:

- CP I – Cimento Portland Comum
- CP I - S - Cimento Portland Comum com adição
- CP II – CP II – Z – Cimento Portland Composto com Pozolana
- CP II – F – Cimento Portland Composto com Filer
- CP III – Cimento Portland de Alto Forno
- CP IV - Cimento Portland Pozolânico
- CP V – ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Além desses tipos, existe o cimento branco, o cimento resistente a sulfatos (RS) e o cimento de baixo calor de hidratação E – Cimento Portland Composto com Escória. O mais comumente usado é o cimento Portland Comum (CP I), por apresentar um custo menor e resultados em termos de resistência comparáveis aos demais tipos, é frequentemente o mais recomendado para diversas aplicações.

2.4.1 Cura

A cura permite que as reações químicas necessárias ocorram adequadamente, resultando no endurecimento dos tijolos. Esta etapa é crucial para impedir que a evaporação prematura da água prejudique a hidratação do cimento, assegurando assim a qualidade final do produto. Tradicionalmente, a cura é iniciada seis horas após a prensagem dos tijolos, mantendo-os úmidos por sete dias, conforme as orientações da ABCP BT-111 (2000).

No entanto, existem divergências na literatura sobre o momento ideal para começar este processo. Segundo Pecoriello (2004), a cura deve começar oito horas após a prensagem, com os tijolos sendo empilhados à sombra e regados diariamente para promover condições ideais de desenvolvimento da resistência.

A importância desse processo é amplamente evidenciada por estudos que demonstram as consequências de sua negligência. A ausência de um método eficaz para evitar a rápida secagem dos tijolos pode reduzir em até 40% a resistência à

compressão simples do material, como identificado nas pesquisas do CEPED (1984) e CEBRACE (1981) (Lima, 2006).

A cura no processo de fabricação de tijolos influencia diretamente a qualidade, resistência e durabilidade do produto e deve ser cuidadosamente ajustada de acordo com o tipo de tijolo produzido e as condições de trabalho. Nos tijolos ecológicos, além da hidratação do cimento, a umidade ajuda a coesão do solo utilizado, proporcionando maior integridade estrutural. Já no concreto convencional, a cura é focada exclusivamente na hidratação do cimento. O controle da umidade e da temperatura durante a cura é fundamental em ambos os processos, mas pode variar em método e intensidade conforme o tipo de material e suas propriedades específicas.

Para os tijolos ecológicos com adição de resíduos orgânicos, utiliza-se um período de cura de 7 dias. Testes preliminares mostram que, após esse período, os tijolos in natura começam a apresentar bolores e fungos devido aos resíduos orgânicos. Portanto, esse período é adotado neste trabalho para assegurar a integridade do produto final.

2.5 TIJOLO ECOLÓGICO E TRAÇOS UTILIZADOS

Este tipo de tijolo é moldado por meio de prensagem, eliminando a necessidade de queima em forno à lenha, o que contribui para a prevenção do desmatamento e evita a poluição do ar por não liberar resíduos tóxicos. Em vez de usar argamassa comum para a instalação, é utilizada uma cola especial (SALA, 2006). Para a confecção dos tijolos de solo-cimento adota-se principalmente como orientações a ABNT NBR 10833:2013.

Para o traço, a dosagem dos componentes da mistura pode variar de 1:7 a 1:14, sendo o traço volumétrico básico recomendado pelo Boletim Técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP (2000) de 1:10, isto significa que para cada 10 baldes de solo, será acrescentado um balde de cimento em volume. Portanto, deve-se escolher o traço que, dentro dessa faixa, apresenta a menor quantidade de cimento, atendendo aos requisitos de resistência e absorção, conforme a norma ABNT NBR 8491:2012. Também leva-se em consideração que a água utilizada nos traços deve ser suficiente para que as reações químicas do cimento ocorram, até obter tijolos com resistência mecânica compatível à NBR-8492 (ABNT,

2013), ou este acaba por perder a função de estabilizante e assumir apenas a posição de agregado, como o solo. Fica evidenciado uma evolução gradual na resistência dos tijolos e redução na absorção de água ao longo do tempo, até atingirem uma idade estável, conforme o tipo do cimento utilizado. Isso permite a fabricação desses tijolos com o tipo mais viável na região para a análise, ou utilização de traços com menor quantidade de cimento (MILLER, 2020). Para cada traço é feita a realização de um ensaio à compressão simples e de determinação do teor de absorção do concreto.

2.6 ENSAIO À COMPRESSÃO SIMPLES

O ensaio à compressão simples do concreto é uma prática essencial na avaliação das propriedades mecânicas desse material estrutural. Seu principal objetivo é avaliar a capacidade do concreto de suportar forças de compressão, fornecendo dados vitais para o dimensionamento correto das estruturas. Neville (2011), ressalta a utilização desse ensaio para determinar a capacidade do concreto de suportar cargas axiais.

Seguindo as diretrizes da norma NBR 5739:2007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o ensaio à compressão simples consiste na aplicação gradual de uma carga axial uniaxial até a ruptura do corpo de prova, como mostra a Figura 2. Além da resistência máxima à compressão, o ensaio fornece informações adicionais, como a deformação específica do material durante o carregamento.

Conforme estabelecido pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), apud Malhotra e Carino (2004), o ensaio à compressão simples é conduzido em corpos de prova cilíndricos ou prismáticos, representativos da mistura de concreto utilizada na obra. Essa análise permite a avaliação da capacidade do concreto de resistir a esforços compressivos, garantindo a segurança e durabilidade dos tijolos, esse teste permite quantificar as propriedades mecânicas do concreto.

FIGURA 2 – ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES.



FONTE: Autor(2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consistiu na caracterização dos materiais utilizados, na produção dos tijolos e na determinação dos parâmetros de resistência e absorção de água dos tijolos fabricados. Para isso, foram coletados 350 kg de solo, com o objetivo de realizar a determinação granulométrica e verificar a conformidade com a norma NBR 10.833 (ABNT, 2012). A caracterização do solo para a produção de tijolos ecológicos abrange diversas etapas, sendo a análise granulométrica uma das primeiras e mais fundamentais. Essa análise se refere a distribuição das partículas minerais do solo em classes de tamanho, mostrados na tabela de dimensão de partículas:

TABELA 1 – DIMENSÃO DAS PARTÍCULAS.

Classe	Diâmetro das partículas - d (mm)
Pedregulho	$d > 2$
Areia grossa	$0,6 < d \leq 2$
Areia média	$0,2 < d \leq 0,6$
Areia fina	$0,06 < d \leq 0,2$
Silte	$0,002 < d \leq 0,06$
Argila	$d \leq 0,002$

FONTE: NBR 6502 (1995).

A partir da granulometria do solo pode-se inferir sobre características como mineralogia, área superficial específica, densidade, porosidade do solo, dentre outras. O ensaio de análise granulométrica foi realizado no Laboratório de Solos de

Engenharia Agrícola no campus de Jandaia do Sul, seguindo o manual da EMBRAPA (1997).

A alta porcentagem de argila no solo contribui para uma maior coesão entre as partículas do solo, o que pode resultar possivelmente em tijolos com maior resistência à compressão. A argila atua como um agente ligante natural, promovendo uma melhor compactação e integridade estrutural dos tijolos após a cura. No entanto, a alta quantidade de argila também pode aumentar a capacidade de absorção de água dos tijolos, levando a uma maior susceptibilidade dos tijolos à umidade, o que pode afetar negativamente sua durabilidade a longo prazo, especialmente em ambientes úmidos.

Os resíduos de casca de ovo e borra de café foram coletados no lixo de separação do restaurante universitário da UFPR e da própria universidade em Jandaia do Sul, sendo levado ao laboratório de Materiais de Construção e Estruturas - LabMATE e acondicionado em bandejas plásticas expostas ao sol para secagem. Como o material coletado estava bastante úmido e pastoso, foi necessário secá-lo ao sol por vários dias para evitar a formação de fungos (Figura 3).

FIGURA 3 – BORRA DE CAFÉ SECA AO SOL



FONTE: Autor. (2024).

Para a fabricação dos tijolos, os componentes sólidos da mistura — solo, cimento e resíduo — foram adequadamente homogeneizados. Em seguida, adicionou-se água aos poucos, até atingir aproximadamente 0,44 kg, quantidade necessária para deixar a mistura em estado de umidade ótima.

A composição da mistura solo-cimento-resíduo para a fabricação dos tijolos foi realizada em quatro traços diferentes, variando os teores dos resíduos em 0, 10, 30 e 50% (Figura 4). A moldagem foi feita utilizando uma prensa hidráulica e um cilindro feito de cano PVC (Figuras 5A e 5B). Os tijolos foram armazenados em uma mesa de laboratório e passaram por um período de cura úmida de 7 dias, sendo umedecidos a cada duas horas.

Para avaliar a viabilidade da incorporação do resíduo nos tijolos em relação à resistência, foram moldados cinco tijolos maciços para cada teor de resíduo testado (0, 10, 30 e 50%). Nos ensaios de compressão, seguiram-se os procedimentos especificados na norma NBR 8.492 (ABNT, 2012).

O experimento foi montado utilizando equipamentos e ferramentas de construção de corpos de prova de concreto disponíveis no laboratório, que foram adaptados para o estudo em tijolos ecológicos.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, e as análises estatísticas foram rodadas no software SISVAR (FERREIRA, 2000). Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial 3x3, com as doses de resíduos (0, 10, 30 e 50%) substituindo o solo na fabricação dos tijolos solo-cimento. Os dados brutos (Apêndice 1) foram submetidos à análise de variância, com comparativo de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e análise de regressão quando significativo, utilizando o software SISVAR 5.6 para a variável resistência à compressão (FERREIRA, 2014).

A análise das tensões fornece informações sobre o desempenho dos tijolos sob condições de carga, permitindo comparações com o tijolo solo-cimento. A análise de variância revela o impacto da quantidade de resíduo na mistura sobre a resistência mecânica à compressão simples. De acordo com a norma NBR 8491/2012, os tijolos ecológicos devem atender a requisitos específicos, como dimensões, resistência à compressão e absorção de água.

FIGURA 4 - TIJOLOS COM DIFERENTES TRAÇOS



FONTE: Autor (2024).

FIGURA 5 A e B – PRENSA HIDRÁULICA E CILINDRO DE PVC USADOS NO ESTUDO.



FONTE: Autor (2024).

3.1 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O cronograma para a fabricação de tijolos ecológicos solo-cimento com adição de diferentes teores de borra de café e casca de ovo bem como as análises dos dados foi elaborado para garantir um fluxo eficiente na produção e análise dos tijolos.

Na primeira etapa, a fabricação do tijolo solo-cimento com 10% de borra de café foi realizada no dia 17 de julho de 2024, seguida pelo desmolde e início da cura, que ocorreram em 22 de julho de 2024. Em seguida, o tijolo com 30% de borra de café foi fabricado em 25 de julho de 2024, com desmolde e início da cura programados para 30 de julho de 2024. Por último, o tijolo com 50% de borra de café foi produzido em 31 de julho de 2024, com desmolde e início da cura no dia 2 de agosto de 2024. Nesta composição, a expectativa é que a resistência à compressão se aproxime dos padrões estipulados pela ABNT NBR 8491/2012, embora a absorção de água possa ser maior devido ao elevado teor de resíduo.

A segunda parte do cronograma abrange a fabricação de tijolos com adição de casca de ovo. O tijolo solo-cimento com 10% de casca de ovo (Figura 6) foi fabricado em 2 de setembro de 2024, com desmolde e início da cura no dia 9 de setembro de 2024. Houve expectativa que esta composição mantenha uma resistência satisfatória, similar ao tijolo com 10% de borra de café, mas com uma possível melhora na absorção de água devido às características da casca de ovo. Para o tijolo com 30% de casca de ovo, a fabricação ocorreu em 24 de setembro de 2024, com desmolde e início da cura em 30 de setembro de 2024. O tijolo com 50% de casca de ovo também foi fabricado em 24 de setembro de 2024, seguindo o mesmo cronograma de desmolde e cura.

Após cada período de cura, os corpos de prova eram levados para a prensa elétrica, este modelo FT 01 da marca Fortest (Figura 7), com capacidade para 200 toneladas, a fim de realizar os ensaios de compressão.

FIGURA 6 - TIJOLO SOLO CIMENTO COM 10% DE CASCA DE OVO



FONTE: Autor (2024).

FIGURA 7 - PRENSA ELÉTRICA MODELO FT 01 DA MARCA FOREST COM CAPACIDADE DE 200 TONELADAS



FONTE: Autor (2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado da composição granulométrica do solo mostrou que o solo pertence a uma classe muito argilosa, é um solo do tipo 3 (solos de textura argilosa, com teor de argila maior ou igual a 35%). Vê-se que o solo é argiloso, característico da região, tendo 18,60% de areia e 67,97% de teor de argila e 13,43% de teor de silte.

Os resultados deste estudo foram obtidos pela análise de dados no software Sisvar. Nesse software, foram inseridos os dados da análise da resistência dos tijolos ecológicos, adicionados com borra de café e casca de ovo nas respectivas concentrações.

Para iniciar a análise dos dados, foi aplicada a ANOVA para esquema fatorial 3x3. Consideraram-se três variáveis principais: tipo de resíduo, SCBC (borra de café), SCCO (casca de ovo) e SC (solo-cimento). Esse teste verificou se as diferenças entre os tratamentos são estatisticamente significativas, avaliando diferentes tipos de materiais ou tratamentos.

Posteriormente, foi realizado o teste de Tukey para a variável TIPO (Tabela 2). Nesse teste, compararam-se as médias dos tratamentos para verificar quais pares de tratamentos apresentam diferenças significativas. Esses resultados são apresentados a seguir:

TABELA 2 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL TIPO.

Tratamento	Resistência Média* (MPa)
SCBC	0,3063 a
SC	0,6398 b
SCCO	0,7364 b

*Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

FONTE: Autor (2024).

Como resultado, temos que SCBC tem a média mais baixa (0.3063), enquanto SCCO (0.7364) e SC (0.6398) têm médias maiores e não diferem significativamente entre si. Isso mostra que a resistência do tijolo ecológico quando comparado ao tijolo ecológico com adição de casca de ovo apresentam as mesmas características de resistência, o que mesclando com a análise visual do experimento (Figura 8) se dá pelo formato estrutural das cascas de ovos no corpo de prova. Além disso, é importante destacar que os resultados indicam que a adição das cascas de ovo no tijolo ecológico não compromete significativamente sua resistência, reforçando o potencial da casca de ovo triturada de forma grosseira, não tendo a necessidade de aquisição de um moedor, sendo utilizado como um agregado alternativo e sustentável. Esse comportamento corrobora com o afirmado por Rocha et al. (2021), que aponta que a substituição do cimento pela casca de ovo em proporções adequadas, favorece o aumento da resistência à compressão mecânica, mesmo apresentando diminuição nos valores em lotes com adição de 2%, ficando os valores obtidos abaixo de 2,0 MPa exigidos pela norma técnica ABNT NBR-8491(2012).

FIGURA 8 - CORPO DE PROVA DO TIJOLO ECOLÓGICO COM ADIÇÃO DE CASCA DE OVO ROMPIDO.



FONTE: Autor (2024).

O tratamento SCBC apresentou uma diferença significativa em relação aos outros dois tratamentos, SC e SCCO, o que também foi evidenciado em outras classificações. Esse resultado pode ser explicado pela análise visual feita em laboratório, onde foi observado que a borra de café apresentou certa dificuldade de

homogeneização na mistura, não se incorporando de forma eficiente ao cimento. Essa dificuldade de mistura pode ter impactado negativamente a resistência do tijolo ecológico produzido com esse agregado. No entanto, é importante destacar que o estudo utilizou borra de café que foi seco ao sol pensando na utilização no meio de construções rurais, o que pode ter influenciado a qualidade da incorporação. Caso a borra de café fosse secada em uma estufa controlada, com uma temperatura e um processo mais adequados, é possível que a incorporação fosse mais eficiente, resultando em uma mistura mais homogênea e, conseqüentemente, em um desempenho superior do material.

No Teste de Tukey para a variável concentração (Tabela 3) verificou-se se existem diferenças significativas entre as médias de diferentes concentrações. O tratamento 50 (concentração de 50%) apresenta a média mais baixa (0.23831), enquanto as concentrações 0%, 10% e 30% têm médias significativamente mais altas.

TABELA 3 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL CONCENTRAÇÃO.

Concentrações	Resistência Média* (MPa)
0	0,6398 a
10	0,71898 a
30	0,6068 a
50	0,23831 b

*Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

FONTE: Autor (2024).

Esses resultados mostram como a concentração de adição no tijolo solo cimento afeta sua resistência. A concentração mais alta de adição (50%) provoca uma dificuldade na incorporação da mistura (Figura 9), o que pode interferir na formação de uma estrutura mais porosa e menos resistente, comprometendo a resistência do material. Com a realização da inspeção visual, identifica-se que “o aumento da

quantidade de poros é proporcional à quantidade de resíduo da casca de ovo utilizada" (SILVA; CHAVES, 2021).

Em contrapartida, concentrações mais baixas de adição, especificamente 10% favorecem uma estrutura com maior resistência inclusive maior que a sem adição (10%). Em níveis de concentração mais baixos, a quantidade de adição não tem um impacto tão grande na incorporação da mistura e da união com o cimento. Conforme Diniz e Reis (2019), diferentes metodologias utilizadas na pesquisa como a análise de diferentes tipos de aditivos e diferentes tempos de cura mostram que o tipo de material e a proporção do resíduo tem um impacto significativo nas propriedades do tijolo solo-cimento.

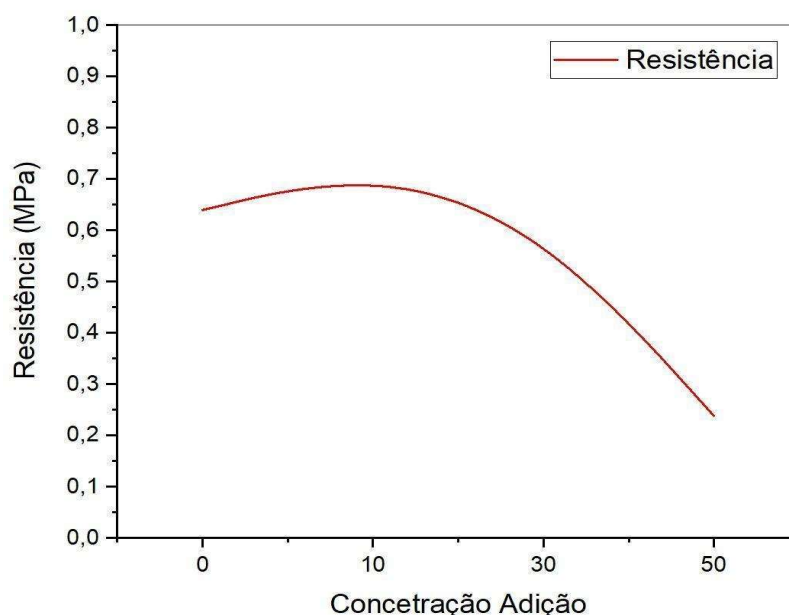
FIGURA 9 - TIJOLO SOLO CIMENTO COM 50% DE ADIÇÃO COMPARADO COM 30%.



FONTE: Autor (2024).

O gráfico 1 mostra como o aumento da concentração afeta diretamente a resistência à compressão dos tijolos, considerando essas diferentes concentrações de resíduos de borra de café e casca de ovo, nesse primeiro momento, de forma geral. Os dados também mostram que nenhuma das concentrações atingiram o valor mínimo exigido pela NBR 8491/2012 (2 MPa), fato este não sendo levado diretamente em consideração neste trabalho, por ser um estudo inicial e por se tratar de uma análise de resistência com corpos de prova produzidos com equipamentos disponíveis inerentes a confecção de corpos de prova de concreto.

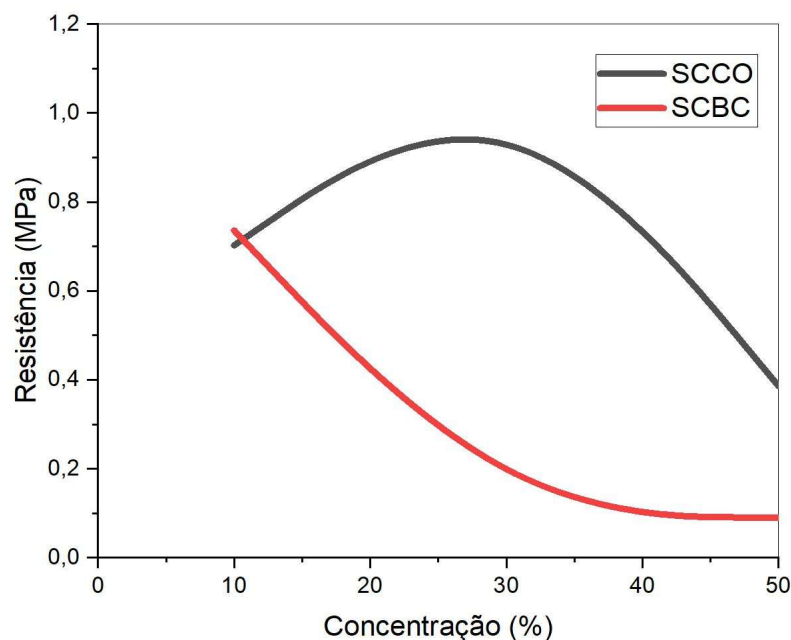
GRÁFICO 1 – RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COM DIFERENTES CONCENTRAÇÃO DE RESÍDUOS.



FONTE: Autor (2024).

O gráfico 2 mostra o panorama geral da comparação da resistência à compressão dos tijolos, considerando apenas diferentes concentrações de resíduos adicionados. Num primeiro momento, as adições de resíduos apresentaram os melhores resultados de resistência que as de resíduos sem concentrações, mostrando que a adição de resíduos de casca de ovo e borra de café no tijolo solo cimento apresenta um aumento na resistência mecânica. Esse comportamento já não se alinha com os resultados do estudo intitulado “Características mecânicas de tijolos ecológicos com incorporação de resíduo” de Siqueira et al. (2016), que aponta que a inserção de resíduos proveniente da tornearia mecânica não é viável para o uso, pois seus resultados apontam uma queda na resistência à compressão.

GRÁFICO 2 – COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COM ADIÇÃO DE BORRA DE CAFÉ E CASCA DE OVO PELA SUA CONCENTRAÇÃO.



FONTE: Autor (2024).

Posteriormente a esta análise, o software realizou o desdobramento da variável TIPO dentro de cada nível da variável CONCENTRAÇÃO, avaliando como diferentes tipos de tratamento afetam a resistência em cada nível de concentração.

Na concentração do tijolo solo cimento sem adição (0%), a única diferença significativa foi observada com o tratamento SC, com média de 0.63980 (Tabela 3). Já no tijolo solo cimento com concentração de 10%, SCCO e SCBC tendem a não apresentam diferenças significativas entre si, ou seja, não diferem estatisticamente, mas apresentam médias mais altas que o tijolo solo cimento sem adição alguma, como mostra na tabela 4:

TABELA 4 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ENTRE SCCO E SCBC NA CONCENTRAÇÃO DE 10%.

Tipo	Resistência Média* (MPa)
SCCO	0,7022
SCBC	0,73576

FONTE: Autor (2024).

Isso indica que quando comparado às diferentes proporções de resíduo, 10% foi a melhor concentração encontrada para a adição no tijolo solo cimento. Na análise do tijolo com adição de 30%(Tabela 5), evidenciou-se que SCBC apresentou uma média de 0,0924 MPa, enquanto SCCO teve uma média significativamente maior mostrando que a estruturação da casca de ovo suporta uma resistência maior do que a mistura com borra de café. De acordo com Santos et al(2023) a influência na absorção de água depende diretamente da umidade e pressão aplicada, mostrando a importância de se mensurar a umidade do resíduo na hora da mistura.

TABELA 5 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ENTRE SCBC E SCCO NA CONCENTRAÇÃO DE 30%.

Tipo	Resistência Média* (MPa)
SCBC	0,0924 a
SCCO	1,1212 b

*Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

FONTE: Autor (2024).

Na concentração de 50%, os tratamentos SCBC e SCCO também não apresentaram diferenças significativas entre si, porém as duas adições apresentaram médias baixas (Tabela 6), com SCBC tendo a média menor (0.090820) e SCCO a maior (0.385800). Tal resultado confirma a tendência encontrada por Dias et al (2021) na “avaliação dos efeitos nas propriedades técnicas da utilização de resíduo de casca de ovo em blocos de pavimentação” que mostrou que a utilização de resíduos de casca de ovo não alterou significativamente o processo produtivo. Porém, a incorporação do resíduo reduz a plasticidade da massa por conta da granulometria do resíduo ser superior ao do cimento. Seus resultados também identificaram que o aumento da quantidade de poros foi proporcional à quantidade de resíduo utilizada.

TABELA 6 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS ENTRE SCBC E SCCO NA CONCENTRAÇÃO DE 50%.

Tipo	Resistência Média* (MPa)
SCBC	0,090820 a
SCCO	0,385800 b

*Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

FONTE: Autor (2024).

A tabela 6 mostra que a concentração de 50% apresentou maiores problemas na incorporação da mistura, gerando menor resistência, mostrando mais uma vez que as concentrações de 10% e 30% têm um efeito mais pronunciado na melhoria da resistência. O que se assemelha com os resultados dos testes de resistência de Siqueira et al (2021) para as condições 0, 5, 10 e 15% que apontam que a inserção de resíduo na mistura não é viável para o uso. Isto também fica claro quando analisou-se o desdobramento da variável CONCENTRAÇÃO dentro de cada nível da variável SCBC(Tabela 7).

TABELA 7 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS NO TRATAMENTO SCBC EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES.

Concentração	Resistência Média* (MPa)
10	0,7358 a
30	0,0924 b
50	0,09082 b

*Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

FONTE: Autor (2024).

No desdobramento da variável CONCENTRAÇÃO dentro da variável SCCO (Tabela 8) mostra que a adição de 30% apresentou uma melhor resistência, sendo ponto chave na diferenciação da borra de café, pois este agregado torna-se mais recomendado para estruturação e caracterização de um tijolo.

TABELA 8 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS NO TRATAMENTO SCCO EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES.

Concentrações	Resistência Média* (MPa)
10	0,7022 a
30	1,1212 b
50	0,3858 a

*Resultado seguido de mesma letra não apresenta diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

FONTE: Autor (2024).

Os resultados da resistência à compressão indicaram que, conforme o aumento da proporção de resíduos na composição do tijolo, a resistência média à compressão apresenta variação decrescente. O teste de Tukey revelou que as misturas com casca de ovo mostraram um aumento significativo na resistência quando comparadas aos de borra de café, especialmente nas proporções mais altas de resíduo. Esse resultado apresenta um comportamento similar com outro tipo de resíduo, mostrado no estudo de Cardoso (2021) sobre a avaliação das propriedades e aplicações de compósitos naturais de matriz polimérica contendo borra de café que determinou a incorporação de borra de café em polipropileno com 10% de agente compatibilizante. No estudo, a borra atuou como carga de enchimento, reduzindo a resistência à tração e a fluidez do material, enquanto aumentava a rigidez. A resistência variou dependendo da concentração de BC. O aumento do compatibilizante (20%) melhorou ligeiramente algumas propriedades mecânicas, mas não trouxe grandes melhorias. Isso sugere que a casca de ovo tem um efeito mais significativo na melhoria das propriedades mecânicas dos tijolos, podendo ser até comparado sua estruturação no corpo de prova a estruturação da brita no concreto.

Além disso, fazendo a análise visual no laboratório, observou-se que os tijolos com maior proporção de resíduos de casca de ovo apresentaram uma absorção de água ligeiramente superior do que os resíduos de borra de café, o que pode ser ajustado por técnicas de impermeabilização ou modificações no volume de resíduo.

Os resultados obtidos indicam que a utilização de resíduos, como a casca de ovo, na produção de tijolos solo-cimento pode representar uma solução promissora no âmbito da resistência desses materiais na construção civil. Esse estudo pode ser aprimorado por meio de técnicas de impermeabilização ou ajustes no volume de resíduo utilizado, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a promoção da reutilização de materiais. Embora as proporções de resíduos estudados não tenham atendido aos requisitos de resistência à compressão estabelecidos pela NBR 8491, é possível ajustar a formulação do tijolo por meio de estudos adicionais, visando aprimorar suas propriedades. Dessa forma, espera-se que esses resultados estimulem o desenvolvimento de tijolos ecológicos, que apresentem baixo custo e boa performance, especialmente em aplicações em construções rurais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo revelou que a resistência mecânica dos tijolos ecológicos compostos de solo argiloso provenientes do município de Jandaia do Sul - Paraná juntamente com concentrações de casca de ovo e borra de café, em pequenas concentrações, 10 e 30%, possui tendência significativa no aumento da resistência mecânica, que é uma das principais características das normas para construção. Diante dos resultados apresentados neste trabalho, constata-se que ambas as incorporações de resíduos não são compatíveis aos exigidos pela norma de 2,0 MPa. Se contrapondo com a pesquisa de Mussatto *et al.* (2011) que indicam que a borra pode melhorar propriedades mecânicas dos tijolos, tornando-os mais leves e isolantes.

O aumento de concentração de borra de café na mistura reduziu consideravelmente tanto a moldagem do corpo de prova quanto a resistência (0,09082 Mpa). Foi observado que a capacidade de incorporação dos materiais diminui à medida que as porcentagens de borra de café aumentaram em todas as amostras. A resistência à compressão dos dois tipos de adição foi feita no mesmo período de cura, mas constatou-se que a resistência diminui com o aumento da quantidade de resíduo.

A investigação deste estudo concluiu que a adição de casca de ovo no tijolo ecológico solo-cimento melhora a resistência à compressão em pequenas quantidades, enquanto a incorporação de 50% de borra de café proporciona uma diminuição significativa na resistência à compressão. Assim, pode-se afirmar que a casca de ovo tem potencial para ser utilizada como matéria-prima alternativa na produção de tijolos solo-cimento, considerando uma proporção adequada e para fins que a resistência não é relevante, oferecendo soluções e aprimoramentos no produto final. Além disso, este trabalho pode servir como base para futuras pesquisas sobre a integração de borra de café e casca de ovo em tijolos solo-cimento.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuras pesquisas com este objetivo, sugere-se realizar testes com a borra de café seca em estufa a 105°C para verificar a quantidade de material absorvido, visto que, neste trabalho, a secagem foi feita ao sol devido ao mau funcionamento da estufa disponível no laboratório, o que pode ter afetado os materiais analisados, resultando em valores muito abaixo das normas. Além disso, recomenda-se o uso de equipamentos específicos para tijolos de solo-cimento, a fim de comprovar se há diferença ao utilizar equipamentos destinados a corpos de prova de concreto. Dada a persistência dos problemas relacionados à secagem e adequação de equipamentos, a busca por alternativas que promovam novos resultados exige esforços conjuntos de outras universidades e centros de pesquisa. É imprescindível verificar a viabilidade do uso desses resíduos em grande escala, avaliando aspectos como local de depósito, custo dos equipamentos e mão de obra qualificada. Também deve-se avaliar a influência do tipo de solo incorporado com os resíduos de casca de ovo e borra de café na resistência e umidade dos tijolos. Além disso, é importante verificar a durabilidade dos materiais incorporados com esses resíduos e analisar a incorporação dos resíduos em diferentes proporções.

Sugere-se ainda que sejam exploradas as potencialidades de outros resíduos orgânicos ou industriais para ampliar o escopo da pesquisa e identificar sinergias com a casca de ovo e a borra de café. Testar diferentes resíduos pode proporcionar uma visão mais abrangente dos materiais sustentáveis e inovadores que podem ser usados na produção de tijolos ecológicos, contribuindo para a diversificação das fontes de matéria-prima e promovendo a sustentabilidade no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

Construções rurais. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://cm-cls-content.s3.amazonaws.com/201702/INTERATIVAS_2_0/CONSTRUCOES_RURALS/U1/LIVRO_UNICO.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024.

DE, T.; DE CURSO, C. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL MATHEUS ABDALA ROCHA FONTES. **Técnicas de caracterização do teor de absorção do polímero superabsorvente**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36983/1/T%C3%A9cnicasCaracteriza%C3%A7%C3%A3oTeor.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <[doi:10.11606/D.18.2003.tde-07072003-160408](https://doi.org/10.11606/D.18.2003.tde-07072003-160408)>. Acesso em: 27 jan. 2024.

LETÍCIA, M. et al. **Caracterização física e mecânica do concreto incorporado com polímero**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2016/TRABALHO_EV058_MD1_SA79_ID1555_04052016224018.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2024.

MARQUES, M. A. G.; MENDES, L. F. **Estudo dos tijolos de solo-cimento quanto à sua adequação às normas vigentes**. Disponível em: <repositorio.unis.edu.br>. Acesso em: 27 jan. 2024.

MILANI, Ana Paula da Silva. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. 2008. 175 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/20.500.12733/1606499>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz**. Engenharia Agrícola, v. 26, n. 1, p. 1–10, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100001>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

MOTTA, J. C. S. S. et al. **Tijolo de solo-cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. e-xacta, v. 7, n. 1, 31 maio 2014. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/1038/0>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

SEGANTINI, Antonio; WADA, Patrycia. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Acta Scientiarum. Technology, v. 33, p. 10.4025/actascitechnol.v33i2.9377, 2011. Acesso em: 27 jan. 2024.

SETIC-UFSC. **Portal Virtuhab**. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/alvenaria-de-bloco-de-solo-cimento/#:~:text=O%20tra%C3%A7%C3%A3o%20para%20a%20mistura>>. Acesso em: 24 fev. 2024.

SILVA, Eduardo; FREIRE, Wesley; CALIL, Carlito. **Elementos pré-moldados de concreto armado para silos quadrados verticais, modulares, para armazenamento de grãos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, p. 325-328, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p325-328>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

SIQUEIRA, Élito; AMARAL, A. G. do; SCHNEIDER, R. M.; ATOATTI, C. **CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO**. Nativa, v. 4, n. 3, p. 170–174, 2016. DOI: 10.31413/nativa.v4i3.3301. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3301>>. Acesso em: 2 out. 2024.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 205–212, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200014>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

Solos do Brasil - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil#:~:text=Os%20solos%20do%20Brasil%20Os%20solos%20do%20Brasil&text=Predominam%20os%20Latossolos%2C%20Argissolos%20e>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, E. R. **Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização)**. Semina: Ciências Agrárias, v. 25, n. 2, p. 93–100. Disponível em: <<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2220/1905>>. Acesso em: 27 jan. 2024.

APÊNDICE 1 – DADOS BRUTOS DO EXPERIMENTO

Tipo	Concentração (%)	Resistência (mpa)
SC	0	0,505
SC	0	0,605
SC	0	0,396
SC	0	1,107
SC	0	0,586
SCBC	10	1,73
SCBC	10	0,4151
SCBC	10	1,091
SCBC	10	0,1921
SCBC	10	0,2506
SCBC	30	0,0813
SCBC	30	0,0449
SCBC	30	0,0814
SCBC	30	0,174
SCBC	30	0,0804
SCBC	50	0,0437
SCBC	50	0,0466
SCBC	50	0,179

SCBC	50	0,134
SCBC	50	0,0508
SCCO	10	0,189
SCCO	10	0,652
SCCO	10	0,901
SCCO	10	1,01
SCCO	10	0,759
SCCO	30	1,45
SCCO	30	0,998
SCCO	30	1,22
SCCO	30	1,01
SCCO	30	0,928
SCCO	50	0,38
SCCO	50	0,446
SCCO	50	0,433
SCCO	50	0,142
SCCO	50	0,528

FONTE: Autor (2024).

