

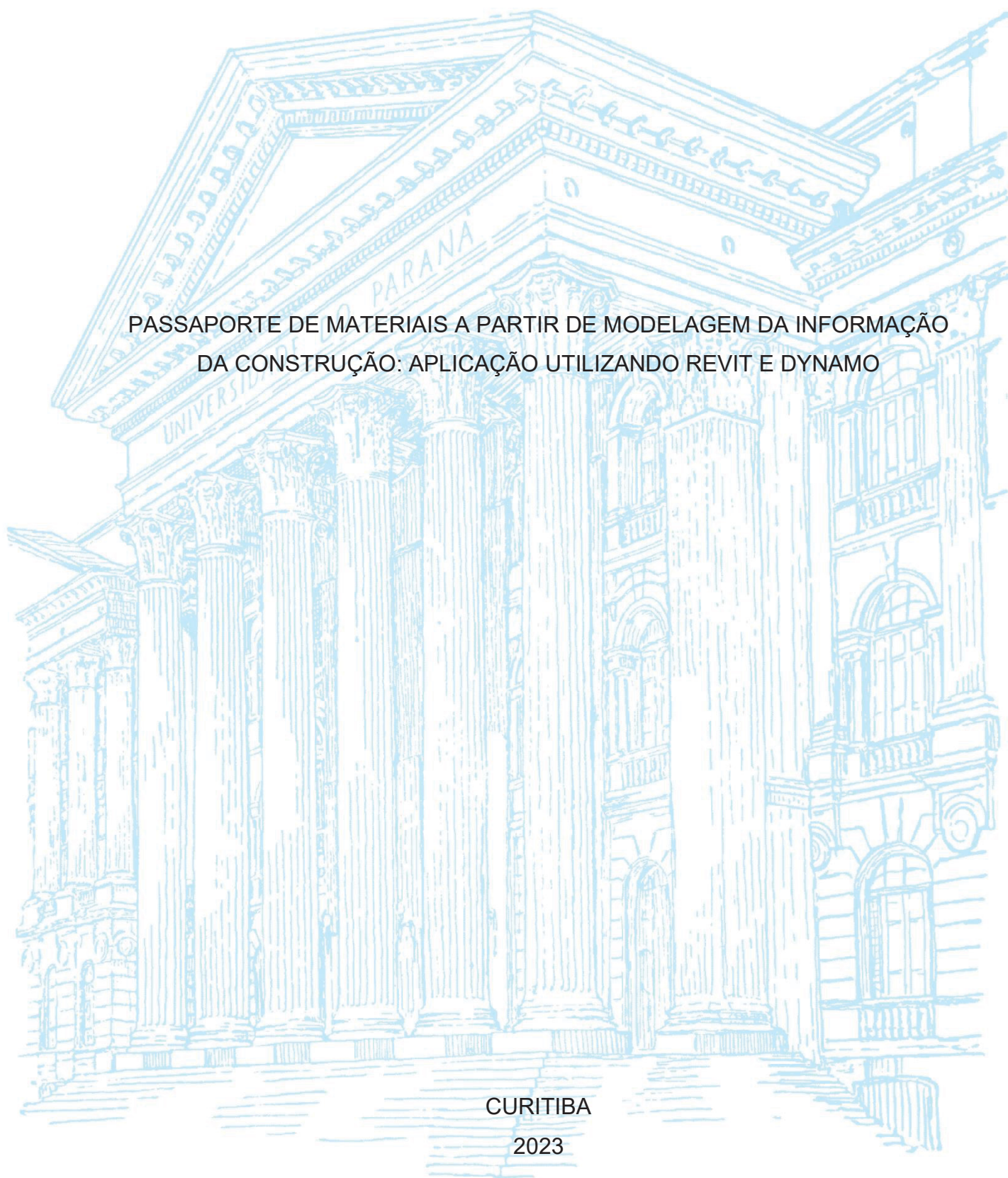
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNA FERREIRA ALVES

PASSAPORTE DE MATERIAIS A PARTIR DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO
DA CONSTRUÇÃO: APLICAÇÃO UTILIZANDO REVIT E DYNAMO

CURITIBA

2023



GIOVANNA FERREIRA ALVES

PASSAPORTE DE MATERIAIS A PARTIR DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO
DA CONSTRUÇÃO: APLICAÇÃO UTILIZANDO REVIT E DYNAMO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares

Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). Mayara Regina Munaro

CURITIBA

2023

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

Alves, Giovanna Ferreira

Passaporte de materiais a partir de modelagem da informação da construção : aplicação utilizando Revit e Dynamo / Giovanna Ferreira Alves. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

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

Orientador: Sergio Fernando Tavares

Coorientador: Mayara Regina Munaro

1. Economia circular. 2. Modelagem de informação da construção. 3. Materiais de construção - Vida útil. 4. Passaporte de Materiais. 5. Autodesk Revit (Programa de computador). 6. Dynamo (Programa de computador). I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Tavares, Sergio Fernando. IV. Munaro, Mayara Regina. V. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

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 dissertação de Mestrado de **GIOVANNA FERREIRA ALVES** intitulada: **PASSAPORTE DE MATERIAIS A PARTIR DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO: APLICAÇÃO UTILIZANDO REVIT E DYNAMO**, sob orientação do Prof. Dr. SÉRGIO FERNANDO TAVARES, 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 mestra 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, 23 de Maio de 2023.

Assinatura Eletrônica

05/06/2023 14:35:27.0

SÉRGIO FERNANDO TAVARES

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

05/06/2023 15:10:24.0

SÉRGIO SCHEER

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

06/06/2023 14:08:30.0

MÁRCIO MINTO FABRÍCIO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Eduardo e Christie, e meus irmãos, Gabriel e Vitória, pelo suporte, incentivo, compreensão e amor incondicional.

Ao meu orientador, professor Dr. Sergio Tavares, pela confiança, pelo tempo dedicado a esta pesquisa, pela orientação e pelos ensinamentos.

À minha coorientadora, professora Dra. Mayara Munaro, e à professora Dra. Maria do Carmo, que nunca hesitaram quando solicitei ajuda.

À Izadora, amiga e parceira de trabalho, que esteve ao meu lado durante todo o período.

Aos meus colegas do programa, por compartilharem comigo esta caminhada.

Aos meus amigos e familiares, por todo apoio.

À Universidade Federal do Paraná, que desde 2014 é minha segunda casa.

À CAPES, pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

Por fim, ofereço um agradecimento especial ao meu nonno (em memória), que foi a pessoa que mais demonstrou interesse neste trabalho durante os últimos dois anos.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.”

PAULO FREIRE

RESUMO

A indústria da construção civil, baseada nos princípios de Economia Linear (EL), é uma das maiores poluidoras do meio ambiente. Para reduzir o impacto ambiental do setor, a Economia Circular (EC) se apresenta como uma estratégia que alia desenvolvimento econômico com aspectos ambientais regenerativos e restaurativos. Para essa transição de EL para EC, informações sobre os materiais são necessárias, por meio de ferramentas como o Passaporte de Materiais (PM). Os PMs são ferramentas digitais capazes de fornecer informações sobre os materiais para sua recuperação e reutilização. Este estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um PM a partir de modelagem da informação da construção. O PM proposto contém 49 parâmetros divididos em nove categorias, sendo elas: (1) dados gerais; (2) dados segurança e saúde; (3) sustentabilidade; (4) dados de design e produção; (5) dados do uso e fase de operação; (6) guia de desmontagem; (7) dados de potencial reuso e reciclagem; (8) histórico do uso do material; e (9) outras informações. Por meio do *Design Science Research* (DSR), desenvolveu-se um artefato utilizando o *software* Revit e a ferramenta de programação visual Dynamo para a modelagem do PM. A validação do artefato foi dividida em duas etapas. Para a primeira validação foi feito um teste funcional através de um protocolo de entrevistas com profissionais da indústria da construção civil. O protocolo de entrevistas foi dividido em três etapas: na primeira etapa os entrevistados responderam quatro perguntas sem nenhuma informação sobre o artefato; na segunda etapa, os entrevistados responderam 12 perguntas depois de serem apresentados ao artefato e à conceitos de EC e PM; e na terceira e última etapa, os entrevistados propuseram melhorias ao artefato. A segunda validação do artefato se deu por meio de uma análise dinâmica que avaliou qualidades do artefato como o desempenho operacional. Por fim, uma empresa de Curitiba que produz painéis em *woodframe* forneceu informações sobre os sete materiais que compõem os painéis. Estas informações foram coletadas e organizadas a fim de obter os 49 parâmetros do PM dos sete materiais. Como resultado da pesquisa, é possível concluir que o artefato proposto obteve resultados operacionais satisfatórios, pois os recursos tecnológicos escolhidos se mostraram eficientes e suficientes no processo. No entanto, o protocolo de entrevistas, bem como a análise dinâmica com os materiais do *woodframe* mostram que a inserção do PM na indústria da construção ainda possui barreiras como a falta de compreensão dos conceitos por parte dos profissionais, a falta de gestão da informação em relação aos dados dos materiais, a dificuldade de troca de informação dos materiais entre fornecedores e profissionais, entre outros. O artefato proposto contribui para inserção e uso da ferramenta de PM nos estudos da etapa de projeto (pré-operacional) de edificações, bem como explora a interação do uso da ferramenta com o BIM para se obter modelos digitais como bancos de dados.

Palavras-chave: Economia Circular. Passaporte de Materiais. BIM. Revit. Dynamo.

ABSTRACT

The civil construction industry, which operates under the principles of Linear Economy (LE), is recognized as one of the primary contributors to environmental pollution. In order to mitigate the sector's environmental impact, Circular Economy (CE) has emerged as a strategic approach that integrates economic development with regenerative and restorative environmental practices. To facilitate the transition from LE to CE, access to comprehensive information about materials becomes essential, and Materials Passport (MP) tools have been developed to address this need. MPs are digital tools capable of providing material information to facilitate their recovery and reuse. This study aims to present the development of a MP derived from Building Information Modeling (BIM). The proposed MP encompasses 49 parameters that are divided into nine distinct categories: (1) general data, (2) safety and health data, (3) sustainability data, (4) design and production data, (5) usage data and operational phase, (6) disassembly guide, (7) reuse and recycling potential data, (8) material usage history, and (9) additional information. Employing the Design Science Research (DSR) approach, an artifact was developed using the Revit software and the Dynamo visual programming tool for MP modeling. The validation process of the artifact consisted of two stages. In the first stage, a functional test was conducted through an interview protocol involving professionals from the civil construction industry. The interview protocol was divided into three stages: initially, respondents answered four questions without any prior information about the artifact; subsequently, the interviewees responded to 12 questions after being introduced to the MP concept and its underlying principles of CE and MP; finally, in the third and final stage, the interviewees provided suggestions for improving the artifact. The second validation of the artifact involved a dynamic analysis that evaluated qualities such as operational performance. Moreover, a company in Curitiba specializing in woodframe panels provided valuable information on the seven materials utilized in their panels. This information was collected and organized to establish the 49 parameters specific to these materials. As a result of the research, it can be concluded that the proposed artifact achieved satisfactory operational results as the chosen technological resources demonstrated efficiency and adequacy throughout the process. However, the interview protocol, along with the dynamic analysis involving woodframe materials, revealed certain barriers to the implementation of MP in the construction industry. These challenges include professionals' limited understanding of the concepts, inadequate management of material data, and difficulties in exchanging material information between suppliers and professionals, among others. Ultimately, the proposed artifact contributes to the integration and utilization of MP tools within the design stage (pre-operational) of buildings. It also explores the interaction between the tool and BIM, facilitating the creation of digital models that serve as comprehensive databases.

Keywords: Circular Economy. Materials Passport. BIM. Revit. Dynamo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	20
Figura 2 - DIAGRAMA DE ECONOMIA LINEAR E CIRCULAR	25
Figura 3 - DIAGRAMA DA ECONOMIA CIRCULAR	26
Figura 4 - MODELO DE PASSAPORTE DE MATERIAIS	32
Figura 5 - FRAMEWORK PARA UM PM.....	33
Figura 6 - FRAMEWORK PARA DESENVOLVIMENTO DE PM DIGITAL.....	34
Figura 7 – APLICAÇÃO DO PM NO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO.....	35
Figura 8 - PARÂMETROS DO PM DA FERRAMENTA MADASTER.....	40
Figura 9 - CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	46
Figura 10 - CICLO DAS ETAPAS DA PESQUISA EM DESIGN SCIENCE	47
Figura 11 - PROTOCOLO DA PESQUISA DE ACORDO COM AS ETAPAS DO DSR	48
Figura 12 – ESQUEMA DO DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO.....	49
Figura 13 - PROTOCOLO DE VALIDAÇÃO DO ARTEFATO	50
Figura 14 – PARTES DO MODELO BIM.....	51
Figura 15 – NÓ DE CRIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA	58
Figura 16 - ROTINA DE CRIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA.....	58
Figura 17 - PARÂMETROS DE MATERIAIS NO REVIT	59
Figura 18 - NÓ "DATA.EXPORTEXCEL"	60
Figura 19 - MATERIAIS DO MODELO REVIT	61
Figura 20 - ARQUIVO .xlsx CRIADO PELA ROTINA DYNAMO	61
Figura 21 - BASE DE DADOS PREENCHIDA	62
Figura 22 - NÓ "DATA.IMPORTEXCEL"	63
Figura 23 - NÓ "ELEMENT.SETPARAMETERBYNAME"	63
Figura 24 - PARÂMETROS DE MATERIAIS IMPORTADOS.....	64
Figura 25 - LOCALIZAÇÃO DO REPRODUTOR DO DYNAMIO NO REVIT 2021 ...	65
Figura 26 - REPRODUTOR DO DYNAMO.....	65
Figura 27 - RECURSO DE TABELAS DO REVIT	66
Figura 28 – ELEMENTO “PAREDES”	67
Figura 29 - TABELA DE QUANTIDADES DO ELEMENTO TIPO PAREDE.....	67

Figura 30 - TABELA DE QUANTIDADES DOS MATERIAIS DO ELEMENTO TIPO PAREDE	68
Figura 31 - RECURSO DE CRIAÇÃO DE CAMPOS TABELADOS COM FÓRMULAS	68
Figura 32 - TABELA DE QUANTIDADES DOS MATERIAIS DO ELEMENTO DE CONSTRUÇÃO.....	69
Figura 33 - ETAPAS DO PROTOCOLO DE ENTREVISTAS	72
Figura 34 – TABELA COM DADOS SOBRE <i>WOODFRAME</i>	80
Figura 35 - MÉDIA DE MATERIAIS COM INFORMAÇÃO PARA CADA PARÂMETRO	81
Figura 36 – CATEGORIA DADOS GERAIS.....	82
Figura 37 - CATEGORIA SEGURANÇA E SAÚDE DO MATERIAL	82
Figura 38 - CATEGORIA PROJETO E PRODUÇÃO	83
Figura 39 - CATEGORIA FASES DE USO E OPERAÇÃO	84
Figura 40 - CATEGORIA GUIA DE DESMONTAGEM.....	84
Figura 41 - CATEGORIA SUSTENTABILIDADE.....	85
Figura 42 - CATEGORIA POTENCIAL DE REUSO E RECICLABILIDADE	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – MODELOS DE PASSAPORTE DE MATERIAIS	35
Tabela 2 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODELOS DE PM.....	36
Tabela 3 - RECURSOS TECNOLÓGICOS PARA DESENVOLVIMENTO DE PM ...	44
Tabela 4 – PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O MODELO DE PM PROPOSTO	54
Tabela 5 - UNIDADE DE MEDIDA DOS PARÂMETROS DE SUSTENTABILIDADE	57
Tabela 6 - FÓRMULAS UTILIZADAS PARA CADA PARÂMETRO	69
Tabela 7 - PERFIL PROFISSIONAL DOS ENTREVISTADOS	71
Tabela 8 – ANÁLISE DA ETAPA 1 (PERGUNTAS 1 A 4).....	75
Tabela 9 - ANÁLISE DA ETAPA 2 (PERGUNTAS 1 A 4)	76
Tabela 10 - ANÁLISE DA ETAPA 2 (PERGUNTAS 5 E 6)	76
Tabela 11 - ANÁLISE DA ETAPA 2 (PERGUNTAS 7 A 12)	77

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ACV	- Avaliação de Ciclo de Vida
ADP	- <i>Abiotic Depletion Potential</i>
AE	- Água Embutida
AEC	- Arquitetura, Engenharia e Construção
AP	- <i>Acidification Potential</i>
BAMB	- <i>Building As Material Banks</i>
BIM	- <i>Building Information Modeling</i>
BO	- <i>BuildingOne</i>
DAP	- Declaração Ambiental de Produto
DfAD	- <i>Design for Adaptability and Deconstruction</i>
DSR	- <i>Design Science Research</i>
EC	- Economia Circular
EE	- Energia Embutida
EL	- Economia Linear
EP	- <i>Eutrophication Potential</i>
GWP	- <i>Global Warming Potencial</i>
LC	- <i>Lean Construction</i>
MCI	- <i>Madaster Circularity Indicator</i>
MNC	- Modelo de Negócios Circulares
ODS	- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ODP	- <i>Ozone Depletion Potential</i>
PEI	- <i>Primary Energy Intensity</i>
PM	- Passaporte de Materiais
PNRS	- Plano Nacional de Resíduos Sólidos
POCP	- <i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>
RCC	- Resíduos da Construção Civil
RCD	- Resíduos de Construção e Demolição
RSL	- Revisão Sistemática de Literatura
TI	- Tecnologia da Informação
VU	- Valores unitários

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivos específicos.....	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.3.1 Aspectos ambientais	18
1.3.2 Aspectos sociais.....	19
1.3.3 Aspectos econômicos.....	20
1.3.4 Aspectos tecnológicos.....	21
1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROGRAMA.....	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1 ECONOMIA CIRCULAR.....	25
2.2 <i>BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB)</i>	29
2.3 PASSAPORTE DE MATERIAIS.....	30
2.3.1 Análise comparativa entre modelos de PM	35
2.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA PASSAPORTE DE MATERIAIS..	37
2.4.1 <i>Building Information Modeling (BIM)</i>	37
2.4.2 Madaster	39
2.4.3 <i>BuildingOne</i>	41
2.4.4 Revit e Dynamo	42
2.4.5 Análise comparativa entre as ferramentas computacionais para PM.....	44
3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO.....	46
3.1 MÉTODO CIENTÍFICO	46
4 APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO	51
4.1 PARÂMETROS DO MODELO BIM	51
4.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS	52
4.3 CRIAÇÃO DE PARÂMETROS UTILIZANDO DYNAMO	57
4.4 CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS A PARTIR DOS MATERIAIS DO MODELO UTILIZANDO DYNAMO	59
4.5 IMPORTAÇÃO DE DADOS DOS MATERIAIS DO MODELO UTILIZANDO DYNAMO.....	63
4.6 EXECUÇÃO DE ROTINAS DO DYNAMO	64

4.7 TABELAS DE PARÂMETROS DO PASSAPORTE DE MATERIAIS	65
4.8 ETAPAS DE APLICAÇÃO DO ARTEFATO	70
5 VALIDAÇÃO DO ARTEFATO	71
5.1 TESTE FUNCIONAL	71
5.2 ANÁLISE DINÂMICA.....	78
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	87
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	89
7 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS.....	92
APÊNDICE A – ROTINA DE CRIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA.....	99
APÊNDICE B – ROTINA DE EXPORTAÇÃO DA LISTA DE MATERIAIS DO MODELO REVIT	104
APÊNDICE C – ROTINA DE IMPORTAÇÃO DE DADOS DOS MATERIAIS PARA O MODELO REVIT	105
APÊNDICE D – TABELAS DO PM GERADAS A PARTIR DO <i>SOFTWARE</i> REVIT	109
APÊNDICE E – RESPOSTAS DO PROTOCOLO DE ENTREVISTAS	110
ANEXO 1 – PASSAPORTE DE MATERIAIS CIRCULAR DA ASSOCIAÇÃO <i>SMART WASTE</i> PORTUGAL.....	131

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial no século XVIII, o modelo linear de consumo foi adotado. Neste modelo, a sociedade assume que os recursos naturais são abundantes, disponíveis e infinitos. A produção e consumo de bens se baseiam na extração dos recursos naturais, sua manufatura, os bens e produtos manufaturados são vendidos, utilizados e, quando deixam de ter a função desejada, são descartados. Um modelo econômico como esse presume perdas significativas ao longo do tempo em sua cadeia de valor.

A Economia Circular (EC) surge como um novo modelo econômico baseada em três princípios: (1) eliminar resíduos e poluição desde o princípio; (2) manter produtos e materiais em uso; e (3) regenerar sistemas naturais (EMF, 2022). Neste novo modelo, restaurativo e regenerativo, o desenvolvimento econômico é desassociado do consumo de recursos naturais (e finitos); os produtos e materiais se mantêm em seu mais alto nível de utilidade e valor; e é inspirado no funcionamento da natureza.

A indústria da construção civil é responsável por consumir cerca de 40% de recursos naturais em massa; emitir cerca de um terço de CO₂ (LAIKE *et al.*, 2016); e a grande quantidade de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) é um problema mundial (ATTA; BAKHOUM; MARZOUK, 2021). Esta indústria é considerada a maior consumidora de recursos naturais do planeta (WEF, 2016). Para a transição de um modelo linear para um modelo circular, é necessário que exista pensamento sistêmico que englobe o ciclo de vida da construção e a cadeia de valor da construção (MUNARO; TAVARES, 2021). Para tanto, informações sobre composição de materiais, estoque de imóveis e fluxos de materiais precisam estar estruturadas (MUNARO; TAVARES, 2021).

O Passaporte de Materiais (PM) surge como uma ferramenta para implementação da EC. É um instrumento que fornece informações estruturadas sobre armazenamento e fornece informações sobre materiais em edifícios como uma plataforma e repositório (HEINRICH; LANG, 2019). Estas informações descrevem características do material sobre todo o seu ciclo de vida de forma que essas características tragam valor para recuperação e reutilização, ou seja, promovam a circularidade e evitem a geração de resíduo. Além disso, o passaporte pode ser um suporte no desenvolvimento de projetos reversíveis (EMF, 2022).

O PM, quando associado a tecnologias de informação (TI) e projetos de construções flexíveis, promove construções mais circulares e resilientes. Os materiais são identificados em um banco de dados, removidos e reutilizados inúmeras vezes (BAMB, 2016). O *Building Information Modeling* (BIM), como exemplo de tecnologia da informação na construção, quando associado ao PM proporciona os projetos de desconstrução bem como a redução de desperdícios (MUNARO E TAVARES, 2021).

Assim, esta pesquisa apresenta um estudo de integração de PM utilizando BIM (*Building Information Modeling*). O PM proposto pelos autores oferecem informações para recuperação e reuso de componentes e materiais a partir de dados e informações com 49 parâmetros divididos em nove categorias e foi desenvolvido por Munaro e Tavares (2021).

O estudo foi desenvolvido utilizando o *software* Revit a partir do modelo de Passaporte de Materiais proposto por Munaro e Tavares (2021). A proposta é de um modelo de PM de um elemento de construção civil composto por mais de um material a partir de *softwares* acessíveis e disponíveis no mercado e na academia. Além do *software* Revit, a modelagem do passaporte conta com a ferramenta Dynamo para automatização de processos.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O problema a ser tratado no presente estudo é: como desenvolver o Passaporte de Materiais de um elemento de construção civil composto por mais de um material utilizando tecnologia BIM?

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver o modelo de Passaporte de Materiais proposto por Munaro e Tavares (2021) através de recursos de Modelagem da Informação da Construção.

1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Definir os parâmetros do modelo BIM com base no PM de Munaro e Tavares (2021);
- b) Criar os parâmetros do modelo BIM com base no PM de Munaro e Tavares (2021);
- c) Inserir dados dos materiais do elemento de construção nos parâmetros do modelo BIM;
- d) Apresentar as informações do PM do elemento de construção a partir da manipulação dos dados dos parâmetros dos materiais.

1.3 JUSTIFICATIVA

1.3.1 Aspectos ambientais

De acordo com as Nações Unidas desde 2018 mais de 50% da população vive em centros urbanos. Estima-se que esse número ultrapasse 67% em 2050. Em 1990 existiam 10 megacidades no mundo; em 2018 esse número aumentou para 33, onde cerca de 13% da população urbana mundial moravam; e em 2030 estima-se que existirão 43 (UN, 2018). Estes dados mostram a velocidade com que a população urbana está crescendo. Consequentemente, o consumo de recursos naturais também está bastante acelerado. Atualmente, a humanidade usa mais de 1,75 vezes dos recursos naturais que o planeta pode fornecer (FOOTPRINT NETWORK, 2023); este número poderá chegar a 3 vezes mais em 2050 (ARUP, 2016).

Estima-se que os edifícios representam um terço das emissões de gases de efeito estufa no mundo (IRP, 2017) e a situação tende a se agravar com o crescimento elevado da população urbana mundial. A indústria da construção civil precisa reduzir cerca de 77% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) até 2050 para que o aumento da temperatura média global se limite a 2°C, conforme estabelecido no Acordo de Paris em 2015 (IEA, 2013). Esse número tende a aumentar com o Pacto de Glasgow (2021) que limita o aumento da temperatura média global em 1,5°C.

O Balanço Energético Nacional de 2019 (EPE, 2020) divulgou que 30,1% da energia elétrica gerada no Brasil é consumida por indústrias; 21,9% é consumida por residências; 14,5% é consumida por comércio; e 7,1% é consumida pelo setor público. Todos os setores têm em comum o uso do ambiente construído. Assim, as edificações são responsáveis por mais de 75% do consumo de energia elétrica no Brasil. No

Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2021), o consumo energético nas residências aumentou 3,4% em relação a 2019, destacando o crescimento de 8,9% no uso de gás natural (fonte de energia fóssil).

Governos ao redor do mundo passaram a incentivar, através de recompensas, o uso de modelos de negócios circulares. Na União Europeia, por exemplo, países aumentaram o custo de aterros sanitários para descarte de resíduos de construção e demolição (RCD). Esta ação trouxe benefícios como a melhoria de processos no setor da construção focando na diminuição de desperdícios bem como aumentou a taxa de reciclagem e reutilização de materiais da construção, como madeira e concreto (WEF, 2014). No Brasil, os Resíduos da Construção Civil (RCC) representam de 50% a 70% do total de resíduos sólidos urbanos (IPEA, 2012). De acordo com a Abrelpe (2020), os RCD cresceram de 33 milhões de toneladas em 2010 para 44,5 milhões de toneladas em 2019. Esses valores representam um aumento per capita de 174,3 kg para 213,5 kg por habitante, por ano.

A indústria da construção civil possui papel significativo nos impactos ambientais. Com o aumento da população urbana, demandas surgirão e precisarão ser atendidas. Por tanto, é necessário que haja mudanças sistêmicas na forma de projetar, construir, usufruir e desconstruir edificações.

1.3.2 Aspectos sociais

Em 2015 países membros da ONU se comprometeram com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). São 17 objetivos, divididos em 169 metas de ação global para alcance em 2030, a fim de alcançar um futuro melhor e mais sustentável para todos. Os ODS envolvem desafios enfrentados globalmente como pobreza, desigualdade social, clima, degradação ambiental, paz e justiça.

O ambiente construído tem influência para a maior parte da população mundial. A maioria das outras indústrias dependem da construção civil para instalarem acomodações, plantas e infraestrutura. As pessoas passam 90% do seu tempo em espaços fechados (WEF, 2016). Assim, a contribuição dos edifícios sustentáveis para alcançar os ODS é significativa.

Dentre os ODS apresentados na Figura 1, são 9 os que as edificações contribuem de forma significativa: ODS 3, ODS 7, ODS 8, ODS 9, ODS 11, ODS 12, ODS 13, ODS 15 e ODS 17. Isso representa mais da metade dos objetivos

estabelecidos nesse pacto global e, demonstra o impacto social causado pelo setor da construção.

Figura 1 - OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



FONTE: Nações Unidas Brasil (2022).

Economias emergentes, como o Brasil, podem ter estratégias de EC aplicadas nas cidades. Pesquisas mostram que o resultado dessas aplicações pode evitar certa de 47.000 mortes prematuras através da redução da poluição do ar. A mitigação dos gases de efeito estufa podem chegar 36%. (IRP, 2017).

1.3.3 Aspectos econômicos

Um estudo realizado pela McKinsey&Company em 2017 revela que a construção civil representa 13% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial e emprega 7% da população em idade ativa, o que faz deste setor um dos maiores na economia mundial. No Brasil, a participação relativa da construção civil na população ocupada é em média 7,52%, considerando o ano de 2000 até 2018 (CBIC, 2021). Em 2021, a indústria da construção civil gerou 244.755 novas vagas de trabalho com carteira assinada, representando 8,96% do total de novas vagas com carteira assinada criadas no Brasil. Mais uma vez o setor é considerado um dos mais importantes e capazes de gerar renda e emprego para a economia nacional (CBIC, 2022).

Existe a necessidade mundial de evoluirmos no desenvolvimento econômico de forma mais sustentável. A construção civil é o maior consumidor mundial de recursos naturais e sua demanda tende a crescer em grande velocidade a partir das estimativas de crescimento populacional urbano (ARUP, 2016). Neste cenário, a EC vem ganhando espaço e importância no mundo corporativo e governamental pelo mundo.

Em 2015, a Fundação Ellen MacArthur (EMF) afirma que a Europa pode obter ganho de €1,8 trilhões em 2030 além do esperado para a economia linear (EL) vigente. Estima-se que nos próximos 10 anos a EC aumentará o mercado econômico em 4% (ING, 2015). Em relação a economia material, EMF diz que é possível obter uma reserva anual de US\$630 bilhões em bens de consumo. Neste valor, está incluso materiais da construção civil (WEF, 2014). No mundo, a circularidade na economia representa apenas 7,2% do total (CIRCLE ECONOMY, 2023).

No ambiente construído, os benefícios da EC vão além da quantidade de materiais retornando ao ciclo de uso. Em Londres, Arup (2016) estima que os ganhos a partir da transição para uma EC no ambiente construído através do gerenciamento de resíduos pode trazer economias de até £5 bilhões até 2050.

1.3.4 Aspectos tecnológicos

Estudos desenvolvidos no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil (PPGEC) na Universidade Federal do Paraná, sob orientação do professor Dr. Sergio Fernando Tavares, apontam a atenção que a EC na construção civil está recebendo na academia. O número de publicações relacionando EC e ambiente construído vem crescendo significativamente desde 2016, com destaque para o periódico *Journal of Cleaner Production* e para países da Europa e China, que são os protagonistas (MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA, 2020).

O relatório publicado por WEF (2016) aponta que a construção civil tem sido uma indústria com lento desenvolvimento tecnológico. Nos Estados Unidos, a produtividade do trabalho na indústria caiu nos últimos 40 anos. Na Europa, a produtividade na construção civil cresceu em até 0,5% entre os anos de 1990 e 2015 (ARUP; EMF, 2018). Em contrapartida, Arup (2016) fala sobre a importância do uso de processos BIM para que haja maior colaboração entre os *stakeholders* nas etapas de projeto, construção e operação de edificações. No contexto desta pesquisa,

destacam-se alguns benefícios do BIM para a construção civil: melhoria significativa de produtividade, melhoria da colaboração multidisciplinar e projetos mais eficientes (EASTMAN *et al.*, 2008).

O projeto se justifica pela finalidade de evoluir na pesquisa e nos conhecimentos em relação às alternativas de uma construção civil sustentável através do desenvolvimento econômico circular. A pesquisa propõe o uso de tecnologia (o BIM) como ferramenta para o desenvolvimento da circularidade do ambiente construído. Os estudos ainda estão em fase exploratória na academia, no entanto, é bastante inovador na indústria de projeto e da construção civil e vem ganhando espaço nos últimos anos.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROGRAMA

O presente estudo faz parte da área de concentração de pesquisa “Sustentabilidade no Ambiente Construído” no programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A área de concentração já contribuiu com as seguintes linhas de pesquisa: eficiência energética, análise de ciclo de vida, energia embutida nas edificações e materiais de construção, coberturas verdes, edificações em madeira, educação e inovação tecnológica e EC.

A linha de pesquisa a qual este estudo pertence teve início em 2018, sob coordenação do professor Dr. Sergio Fernando Tavares, que atua em projetos de pesquisa voltados à sustentabilidade das edificações.

A produção acadêmica dos pesquisadores do programa sobre EC é recente. O primeiro artigo, publicado por Munaro *et al.* (2019), propõe um passaporte de materiais e sua viabilidade para um sistema construtivo em *WoodFrame* no Brasil. Na proposta de passaporte, foram apresentadas diretrizes de informações gerais, segurança, sustentabilidade, uso e operação, orientação de montagem, reutilização e histórico de serviço do produto. Os autores desenvolvem um estudo de caso com uma empresa brasileira, encontrando desafios no desenvolvimento do PM. Concluem sobre a importância do PM no âmbito da EC e a contribuição do *WoodFrame* para construções flexíveis e renováveis.

O segundo artigo publicado de Munaro *et al.* (2020) propõe a integração da EC e grandes volumes de dados (*big data*). Os autores integram tendências conceituais de ferramentas circulares do BAMB, atributos da *big data* (como volume,

variedade, velocidade, veracidade, entre outros) e os *stakeholders* da indústria da construção civil a partir de um diagrama. Com esta integração, é possível fornecer direcionamentos para a análise de dados em modelos circulares com o objetivo de criar valor sustentável e apoiar para a transição do setor rumo a EC.

Em 2020, Benachio *et al.* (2020) fazem uma revisão sistemática de literatura (RSL) sobre a EC na indústria da construção civil. A revisão dividiu 45 artigos em seis áreas de pesquisa: desenvolvimento da EC, reaproveitamento de materiais, estoques de materiais, EC no ambiente construído, análise de ACV (Avaliação de Ciclo de Vida) e Passaporte de Materiais. Além da análise de conteúdo proposta nas seis áreas de pesquisa, os autores desenvolvem uma tabela que estrutura as práticas de EC na construção civil de acordo com os estágios do ciclo de vida das edificações.

Munaro *et al.* (2020) publicam o quarto artigo, um estudo de revisão sistemática de literatura e apresentam uma direção para construções circulares e mais sustentáveis. O objetivo da revisão é fornecer o estado da arte da EC na pesquisa. Na revisão, os autores analisam 318 artigos a partir de duas óticas: análise descritiva e análise temática. A primeira apresenta dados bibliográficos dos artigos; a segunda estrutura e agrupa os artigos em eixos temáticos norteadores de acordo com as semelhanças e tendências. Os autores propõem um referencial teórico que preencha as lacunas de pesquisa encontradas e que possa ser utilizado em pesquisas futuras.

Em 2021, quatro artigos foram publicados. O primeiro refere-se a RSL sobre Passaporte de Materiais, publicado por Munaro e Tavares (2021). Os autores buscam explorar o uso do PM no setor da construção para conscientizar sobre a ferramenta através da revisão de 15 artigos. A RSL foi dividida em duas análises, a descritiva e a temática. A primeira organiza os artigos a partir de dados bibliográficos; a segunda estrutura os artigos a partir de três eixos temáticos (ferramentas e estratégias para implementação de PM; conceitos gerais e diretrizes; e oportunidades de negócios). Como resultado, apresentam o estado da arte do PM no setor da construção, propõem um modelo de PM e elencam os principais desafios e oportunidades do PM no setor.

Munaro *et al.* (2021) fazem uma RSL sobre modelos de negócios circulares (MNC), buscando descobrir como o setor da construção se aproxima dos MNC. A revisão conta com 89 artigos divididos em análises descritivas e temáticas como os artigos anteriores. Além disso, os autores propõem um *framework* para implementação de MNC. Neste *framework*, apresenta-se um roteiro de implementação de MNC nas diferentes etapas do ciclo de vida da edificação.

Munaro *et al.* (2021) fazem uma RSL sobre metodologias de ecodesign para alcançar a desconstrução de edificações. Nesta revisão, 288 artigos foram analisados sob três óticas: análise bibliométrica, conceito sobre métodos de ecodesign e categorias. A análise de categorias dividiu os artigos em três categorias: processo de projeto e planejamento; fim de vida de edificações; e avaliações circulares e valores estratégicos. Os autores concluem que existe um gap sobre o entendimento dos conceitos de ecodesign e propõem um framework para a implementação do DfAD (*design for adaptability and deconstruction*) no setor da construção ao longo do ciclo de vida da construção.

Benachio *et al.* (2021) encontra interações, positivas e negativas, entre *Lean Construction* (LC) e EC. Ambos os conceitos buscam promover construções com menos desperdício e geração de resíduos. A EC busca manter os materiais com alto valor mesmo após o fim de vida da edificação e a LC busca aumentar a produtividade na construção, aumentando seu valor e diminuindo desperdícios. Através do método de análise de conteúdo, os autores criam uma matriz de relações entre práticas de EC e princípios de LC em todas as etapas do ciclo de vida de edificações. Foram encontradas 74 interações, das quais 70 são positivas e 4 negativas. A partir das análises dos resultados, os autores concluem que é possível criar uma sequência de projeto ideal capaz de incorporar diversas práticas de EC e consequentemente irá se aproximar do conceito de LC.

Em 2022, Munaro e Tavares (2022) fazem uma análise das políticas públicas brasileiras relacionadas a EC na indústria da construção civil. A análise foi feita a partir do conceito dos 9R's de Potting *et al.* (2017) e categorizou 12 políticas públicas brasileiras que apoiam a adoção da EC na construção. Os autores apresentam um *framework* que correlaciona os 9R's e as políticas públicas brasileiras e concluem que as políticas brasileiras estão focadas na redução dos resíduos da construção, através de princípios de logística reversa e princípios de responsabilidade compartilhada. Um exemplo de política pública neste contexto é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Por fim, Munaro (2022) conclui a primeira pesquisa sobre o tema no PPGEC com a tese de doutorado. A tese apresenta as tendências, desafios e ferramentas existentes da EC no setor da construção civil em uma estrutura de sete artigos (cinco deles publicados e apresentados nesta seção).

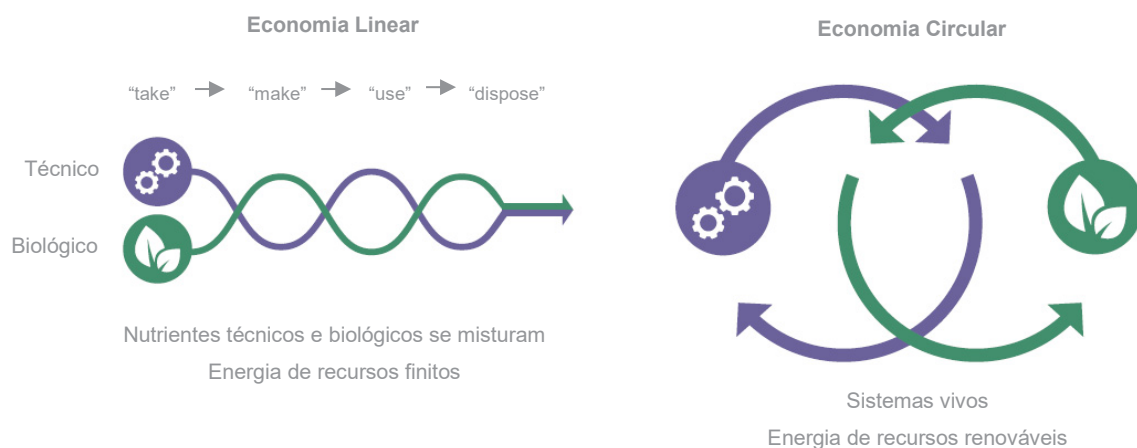
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ECONOMIA CIRCULAR

A extração e uso de recursos naturais seguem a abordagem da EL, conhecida pelo modelo de *“take-make-use-dispose”*, traduzido pela Autora, “pegar-manufaturar-usar-descartar”. Este modelo ocasiona problemas ambientais como o aumento das emissões de gás carbono na atmosfera, aumento das pressões sobre o uso de aterros sanitários, extração insustentável de água e poluição generalizada do ecossistema. O planeta suportou o modelo de EL pela abundância e baixos custos dos recursos naturais. No entanto, com o aumento da população de forma acelerada, o acesso a estes recursos vem sendo cada vez mais difícil e com custos cada vez mais elevados (ARUP, 2016).

Contrariamente ao processo tradicional, a EC busca gerir melhor os recursos naturais pois desassocia o crescimento econômico da extração dos recursos (ARUP, 2016). Com a EC, os produtos se mantem no seu mais alto valor, no maior tempo possível (EMF, 2015; ARUP, 2016).

Figura 2 - DIAGRAMA DE ECONOMIA LINEAR E CIRCULAR



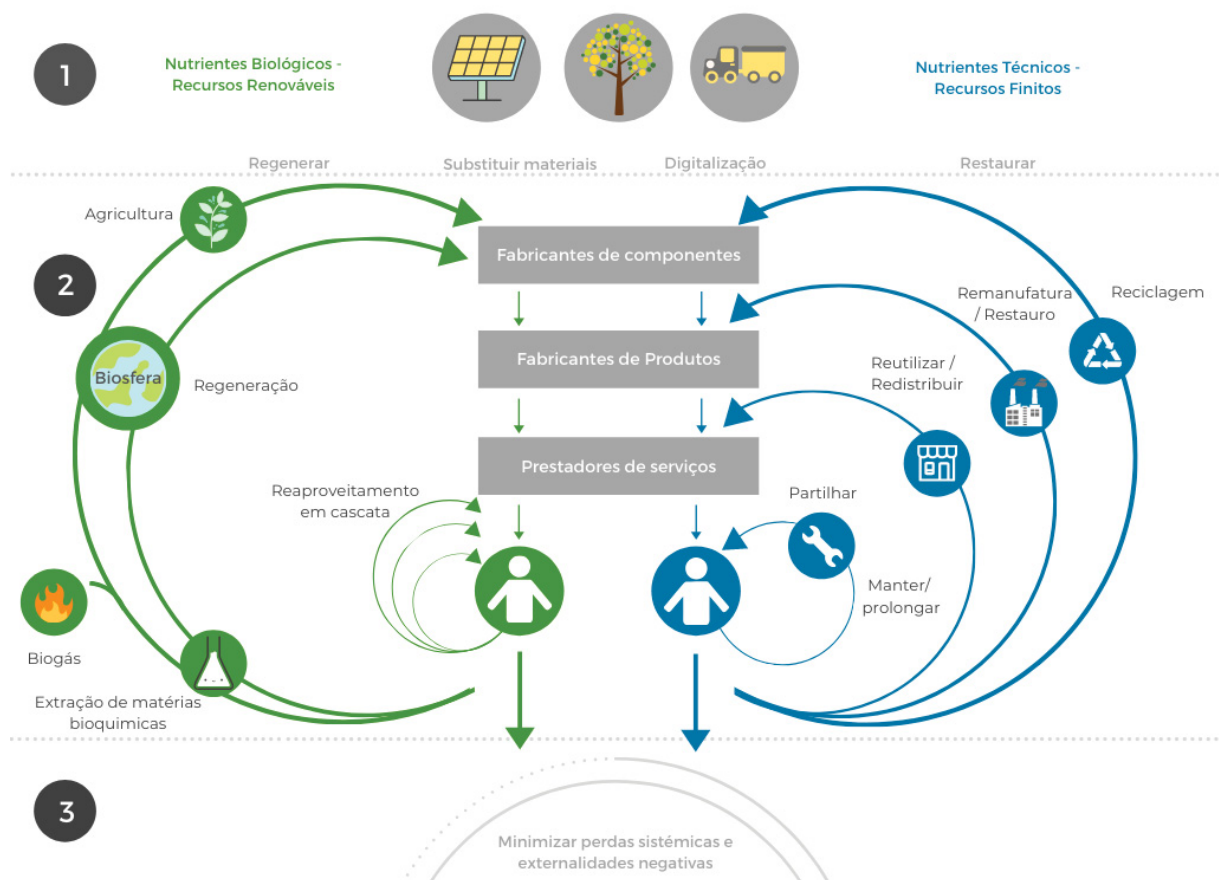
FONTE: Traduzido de ARUP (2016).

De acordo com Ellen MacArthur Foundation (EMF) (2015), o conceito de Economia Circular pode ser definido como um sistema regenerativo em que os

materiais se mantêm em seu mais alto valor em um ciclo fechado. Ele se baseia em três princípios: eliminar resíduos e poluição desde o princípio; manter produtos e materiais em uso; e regenerar sistemas naturais. O conceito compreende que precisa funcionar em todas as escalas de negócios, desde os pequenos até os globais, contribuindo para a saúde geral do sistema.

EMF (2015) representa o novo sistema de EC através do diagrama sistêmico apresentado na Figura 3. Este diagrama ilustra o fluxo para criação de valor entre dois ciclos principais, chamados de ciclo de nutrientes técnicos e ciclo biológico. O ciclo de nutrientes técnicos é aquele que os materiais se mantêm em circulação através de práticas de reciclagem, reutilização, remanufatura, reparo, entre outros. O ciclo biológico devolve os nutrientes dos materiais biodegradáveis para a natureza de forma que esses materiais podem se regenerar.

Figura 3 - DIAGRAMA DA ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: Traduzido de EMF (2021).

O conceito de EC não tem origens que possam ser nomeadas por um único autor ou datadas em uma única data, no entanto esse conceito vem crescendo na maneira que conhecemos hoje desde 1970, através de um pequeno número de líderes intelectuais e empresariais (EMF, 2021).

As principais escolas de pensamento que estudam sobre EC são:

a) Design Regenerativo: o desenvolvimento de ideias de design regenerativo iniciou nos Estados Unidos de forma a serem aplicadas em todos os tipos de sistemas e para além da agricultura, onde o conceito havia sido formulado anteriormente;

b) Economia de Desempenho: apresentação de uma economia “em ciclos” e o impacto dela na geração de empregos, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios;

c) *Cradle to cradle* – Do berço ao berço: esse conceito considera os materiais e componentes como nutrientes em dois ciclos: o técnico e o biológico. O design é focado para efetividade do impacto ambiental positivo e diminuição do impacto ambiental negativo.

d) Ecologia Industrial: essa abordagem desenvolve processos industriais de ciclos fechados, com limitações ecológicas locais. Os resíduos gerados nos sistemas servem como insumos e, assim, os subprodutos indesejados não existem;

e) Biomimética: esse conceito se inspira no desenvolvimento a partir do funcionamento da natureza. Se baseia em 2 princípios: natureza como modelo; natureza como medida; e natureza como mentora.

f) Blue Economy: essa abordagem se baseia em 21 princípios, buscando soluções de acordo com o ambiente local e suas características físicas e ecológicas.

O conceito de EC também é definido por outros autores. Kirchherr *et al.* (2017) encontram 114 definições diferentes para EC em suas pesquisas. Os autores concluem que o conceito é diferente para pessoas diferentes assim como existem pessoas que não sabem do que se trata. Geissdoerfer *et al.* (2017) define EC como um sistema regenerativo “no qual a entrada e o desperdício de recursos, a emissão e o vazamento de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos ciclos de material e energia.” Além disso, os autores complementam que projetos duradouros, de manutenção, reparo, reutilização, entre outros, são o meio para alcançar a EC.

EMF (2021) também classifica a construção de uma EC em quatro blocos: (1) Design de economia circular; (2) Novos modelos de negócios; (3) Ciclos reversos; e (4) Condições viabilizadoras e condições sistêmicas favoráveis. O primeiro diz respeito às competências de design para que produtos e processos se tornem circulares, através de seleção de materiais, produtos projetados para a durabilidade, design facilitador de separação de componentes para reuso e reciclagem, entre outros. O segundo diz respeito a modelos de negócios que substituam os modelos lineares existentes bem como criem oportunidades inovadoras no mercado. O terceiro refere-se ao aproveitamento de materiais em ciclos existentes ou novos, através de práticas de logística reversa, por exemplo. O vazamento de materiais para fora do ciclo deve ser diminuído ao máximo. Por fim, o quarto item diz respeito a políticas públicas, instituições de ensino e formadores de opinião capazes de promover colaboração, revisão de incentivos, acesso a financiamentos, entre outros.

Munaro *et al.* (2020) concluem que apesar do crescimento da pesquisa referente ao campo da EC, o tema ainda está em fase exploratória, sem uma abordagem de confirmação e/ou validação empírica. Além disso, as pesquisas centralizadas tanto na Europa quanto na China já apontam a necessidade de políticas públicas governamentais que deem suporte para a implementação deste novo modelo de negócio na indústria da construção civil. Está surgindo um consenso de que as verdadeiras barreiras para um ambiente construído mais circular são culturais, apesar dos desafios técnicos e regulatórios (HART *et al.*, 2019).

Pesquisas voltadas ao tema vêm crescendo muito desde 2015. Os autores concluem que mais de 70% das publicações são de origem europeia e em países como Espanha, Itália e Reino Unido. Também foi possível concluir que o principal periódico para publicação de artigos relacionados ao tema é o *Journal of Cleaner Production* (RAHLA; MATEUS; BRAGANÇA, 2021). Munaro *et al.* (2020) destacam a Europa como o principal continente com publicações sobre EC e construção civil, seguido da Ásia. Também destacam o ritmo crescente do número de publicações sobre o tema de 2006 a 2019. Para Barboza *et al.* (2019), o uso de técnicas da EC na Construção é muito recente, com os inícios dos artigos científicos sobre o tema sendo publicados em 2014 e o maior volume desses trabalhos publicados em 2018 e 2019.

Os princípios da EC foram denominados a partir do princípio dos três Rs (Reduzir, Reusar e Reciclar). Este princípio se expandiu e encontra-se na literatura definições de nove Rs. São eles: Recusar, Repensar, Reduzir, Reusar, Reparar,

Renovar, Remanufaturar, Reaproveitar, Reciclar, Recuperar. Esses critérios cobrem três aspectos: o tipo de entrada, estágio de uso e cenário de fim-de-vida. É possível identificar que o critério mais discutido em pesquisas foi “reciclar e recuperar”. Cerca de 80% dos artigos publicados discutem a ideia de reciclar e incorporar conteúdo em outros materiais e componentes com o intuito de diminuir o uso de matéria-prima virgem para produção de novos materiais e componentes da construção (RAHLA; MATEUS; BRAGANÇA, 2021). Por esse motivo, alguns autores compreendem a EC como apenas a reciclagem, apesar do princípio dos três Rs determinar as ações da EC na Lei de Promoção da Economia Circular de 2008 da China (KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017).

A aplicação do modelo de EC na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) pode resultar em uma diminuição no uso de matéria-prima virgem, resíduos em aterros sanitários e, de forma geral, impactos ambientais (COPELAND; BILEC, 2020). Benachio *et al.* (2020) chamam a atenção para o fato de que a maioria das práticas de EC na construção civil tem como objetivo diminuir a quantidade de resíduos gerados no final do ciclo de vida dos materiais e componentes de uma edificação, bem como o melhor gerenciamento desses materiais durante todo o seu ciclo de vida.

2.2 BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB)

O projeto BAMB (*Buildings as Material Banks*) é uma colaboração entre 15 participantes de 7 países da Europa. Esta parceria tem como objetivo implementar mudanças sistemáticas no setor da construção civil através de soluções circulares. As edificações passam a funcionar como banco de materiais de forma a conservar seu valor durante a vida útil, utilizando ferramentas como o passaporte de materiais e projetos reversíveis (BAMB, 2022). Os materiais valorizados são reutilizados ou reciclados, no entanto, materiais considerados não valiosos viram resíduos. Assim, o BAMB cria formas de manter e aumentar o valor dos materiais no setor da construção (BAMB, 2016).

O BAMB desenvolveu estudos de desenvolvimento e integração de ferramentas como PMs e Projetos Reversíveis, ambos apoiados por novos modelos de negócios, por propostas de políticas e modelos de gestão, modelos de apoio a tomada de decisão (BAMB, 2016).

O PM é uma ferramenta de conjunto de dados sobre materiais e componentes da construção civil (BAMB, 2022). Esses dados descrevem características do material sobre todo o seu ciclo de vida de forma que essas características tragam valor para recuperação e reutilização, ou seja, promovam a circularidade e evitem a geração de resíduo. Além disso, o passaporte pode ser um suporte no desenvolvimento de projetos reversíveis (BAMB, 2022).

Os Projetos Reversíveis são projetos nos quais as edificações possam ser facilmente desconstruídas, ou apenas partes da edificação possam ser removidas e/ou adicionadas de forma a não prejudicar os materiais, produtos e componentes da edificação. As edificações reversíveis possibilitam o reparo, reutilização e a recuperação de materiais e componentes da construção produzindo menos resíduos; são flexíveis e transformáveis; são desconstrutíveis, ou seja, partes da edificação podem ser removidas e/ou adicionadas; e são edifícios que funcionam como um passaporte de materiais (BAMB, 2022).

2.3 PASSAPORTE DE MATERIAIS

Passaporte de materiais é uma das ferramentas capaz de inserir a EC na construção civil (MUNARO *et al.*, 2019), bem como um conjunto de dados e informações que descrevem características de materiais que lhes dão valor para recuperação e reutilização (LUSCUERE, 2016). Os dados e informações armazenados em um PM precisam ser úteis, acessíveis aos usuários e capazes de comunicar o nível de informação relacionado a um produto em um documento vivo e dinâmico. O documento precisa ser capaz de informar o valor do material durante toda a sua fase do ciclo de vida e, portanto, é fundamental o conhecimento da Avaliação do Ciclo de Vida do material em questão (MUNARO *et al.*, 2019). De acordo com a Associação *Smart Waste* Portugal (2021), os dados de um PM fornecem informações técnicas de um produto de construção. Com estas informações, identifica-se os impactos ambientais do produto bem como o potencial de recuperação, reutilização e reciclagem.

No entanto, outras informações são essenciais na ferramenta, como informação sobre qualidade, segurança, sustentabilidade, uso e operação, potencial reuso, histórico de usos e desmontagem (MUNARO *et al.*, 2019). Munaro *et al.* (2021) listam um conjunto de dados dos materiais e componentes, como performance,

eficiência de água e eficiência energética, avaliação de ciclo de vida e informações sobre o fim da vida desses materiais. Essa lista de informações e dados sobre os componentes e materiais da construção dão aos usuários e outros *stakeholders* da edificação a opção de escolher ambientes mais segura e com bem-estar. O PM fornece identidade para o produto e atribui valor a ele (ASSOCIAÇÃO SMART WASTE PORTUGAL, 2021).

As principais estratégias dos PM são: (1) o fechamento do ciclo dos materiais; e (2) a produtividade dos recursos. O fechamento do ciclo dos materiais diz respeito ao retorno dos materiais, seja por processos naturais ou tecnológicos (como mostra a Figura 3), a alguma etapa do ciclo. A reinserção do material ao ciclo se dá através da recuperação, reutilização, reciclagem, biodegradação, entre outros. A produtividade dos recursos diz respeito a medida da quantidade de recursos naturais virgens extraídos em relação ao valor criado a partir desta quantidade (BAMB, 2022).

No BAMB, os PM têm o objetivo de ser um único lugar de informações relevantes dos materiais. Os objetivos específicos são (1) aumentar ou manter o valor dos produtos ao longo do tempo; (2) incentivar fornecedores a produzirem materiais mais sustentáveis, saudáveis e circulares; (3) dar suporte a escolha de materiais em projetos reversíveis; (4) facilitar a escolha de materiais mais sustentáveis, saudáveis e circulares por parte dos *stakeholders*; (5) facilitar a logística reversa dos produtos (BAMB, 2022).

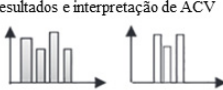
No ambiente construído, a ferramenta é uma documentação digital (BOKKINGA, 2018; MEISTER, 2020; MULHALL *et al.*, 2017), qualitativa e quantitativa, sobre a composição detalhada dos materiais de uma edificação (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019). Quando baseado em BIM, atua como otimização nas fases iniciais de um projeto e como inventário nas fases finais do ciclo de vida da edificação. (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019)

Munaro e Tavares (2021) propõem um modelo de PM no qual contém todas as informações necessárias para recuperação e reuso dos componentes e materiais da construção civil. O passaporte é dividido em nove classificações de dados, sendo elas: (1) dados gerais como nome da empresa de manufatura do material, sua composição, nome comercial, entre outros; (2) dados segurança e saúde dos materiais como toxicidade, inflamabilidade, entre outros; (3) sustentabilidade como avaliação de ciclo de vida, informações sobre ser renovável ou não, entre outros; (4) dados de design e produção como processos e técnicas de manufatura, tipo de

instalação, certificações, entre outros; (5) dados do uso e fase de operação como limpeza e manutenção dos materiais, posições e locações nas edificações, monitoramento de consumo energético/água, entre outros; (6) guia de desmontagem como instruções para o desmonte, transporte, entre outros; (7) dados de potencial reuso e reciclagem dos materiais como disposição final, tipos de reuso/reciclagem; (8) histórico do uso do material como últimas manutenções, últimos usos, entre outros; e (9) outras informações, dados para complementar o material.

Neste modelo, os autores não definem uma estrutura tecnológica para desenvolvimento do PM e/ou as ferramentas computacionais ideais para desenvolver essa estrutura. A pesquisa direciona a estrutura do PM em relação a quantidade e categorias de informações necessária, que definem o que é um PM. A Figura 4 representa o modelo de PM proposto por Munaro e Tavares (2021).

Figura 4 - MODELO DE PASSAPORTE DE MATERIAIS

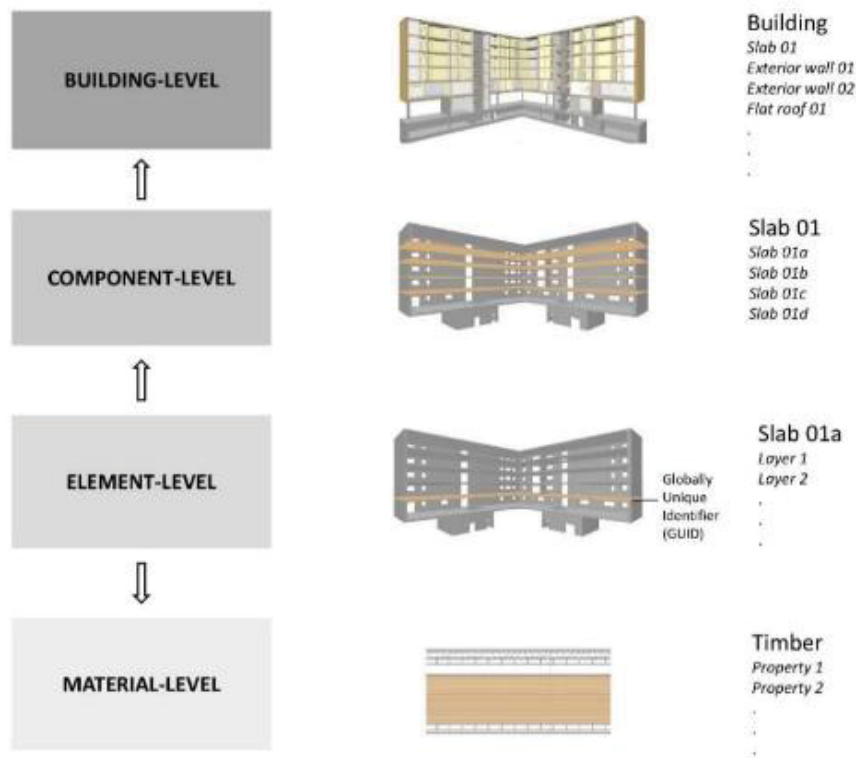
NOME DO PRODUTO		Código de rastreamento do produto: Fabricante:	Passaporte de Materiais		01 (número)
1 Dados gerais			Última atualização: dd/mm/aa	5 Fase de uso e operação	
Nome comercial/do produto Detalhes/nome do fabricante Composição/materiais Propriedades do produto (física, química e biológica) Imagem do produto/principal função do produto		Recomendações/restrições de uso Características de performance Dados técnicos (tensão/peso) Informações temporais (data de produção, vida útil esperada)	Posição e locação da edificação Instruções de limpeza e manutenção Detalhes e requisitos de conexões	Garantias e tempos de uso esperados Monitoramento e consumo (energia, água, influências externas)	
2 Segurança e saúde do material			6 Guia de desmontagem		
Informações de segurança (avisos/recomendações) Composição do material (toxicidade, aditivos) Identificação de risco/Proteção contra fogo		Dados de manipulação e armazenamento Certificações e rótulos Legislação e política	Instruções de desmontagem (remoção/substituição de peças) Requerimentos de embalagem e armazenamento Instruções de transporte		
3 Sustentabilidade			7 Potenciais de reuso e reciclagem do material		
Declaração ambiental Análise de ciclo de vida (ACV) Limites e metodologia da ACV Renovável/não-renovável, tratado/não tratado		Resultados e interpretação de ACV 	Considerações de fim de vida (reuso/reciclagem/remodelação) Opções de disposição e decomposição		
4 Design e produção			8 História		
Processos e técnicas de manufatura Instruções de instalação e manipulação Certificações (rotulagem energética, teste de materiais) Digitalização (BIM)		Rastreabilidade (tags RFID, códigos de barras) Logística (embalagens, gestão cadeia de suprimentos, requisitos de transporte)	Período de uso Verificações feitas durante o uso Usos mais recentes/operações Atualizações durante operações		
			9 Outras informações		
			Referências usadas/normas consultadas Material complementar		

FONTE: Traduzido de Munaro e Tavares (2021).

Outros autores definiram PM. A Figura 5 apresenta o *framework* proposto por Honic *et al.* (2019), na qual a estrutura é dividida em quatro níveis, começando no nível da edificação, na sequência nível do componente, depois nível do elemento e por último o nível do material. Neste *framework* somam-se os componentes (lajes, paredes externas, por exemplo) para se obter o nível da edificação. No nível dos

elementos somam-se as camadas/materiais, que é onde são inseridas as propriedades do PM.

Figura 5 - FRAMEWORK PARA UM PM



FONTE: HONIC *et al.* (2019)

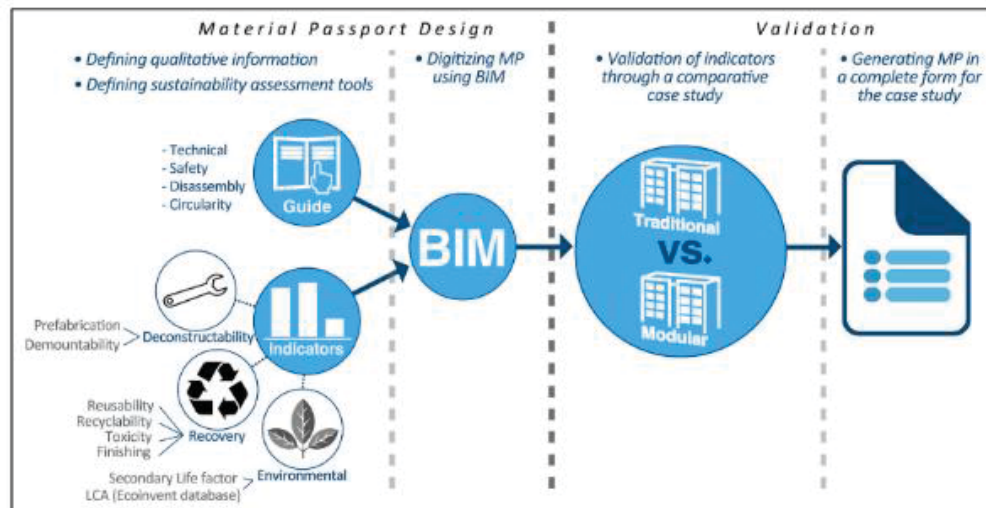
Outra pesquisa dos mesmos autores incorpora outras informações sobre o mesmo modelo de PM. Honic, Kovacic e Rechberger (2019) traz três indicadores que o PM apresenta em edificações. O primeiro refere-se a um indicador de reciclabilidade da edificação a partir da sua massa total, mostrando o percentual de massa tem potencial de reciclagem. O segundo refere-se a três indicadores de ACV (*PEI*, *GWP* e *AP*). E o terceiro refere-se à quantidade de material que pode ser reciclado em comparação ao que será resíduo. Por exemplo, o concreto é um material que possui quase 600 toneladas que serão resíduos e quase 500 toneladas que poderão ser recicladas. Os três indicadores são apresentados em nível de construção, componente, elemento e material (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019).

Neste modelo de PM, os autores já definem a estrutura tecnológica do PM utilizando ferramentas computacionais pré-definidas que serão apresentadas na seção 2.4 deste estudo.

Atta *et al.* (2021) propõem um passaporte digital a partir de três indicadores matemáticos de sustentabilidade: pontuação de desconstrutibilidade; pontuação de recuperação; e pontuação ambiental. Os autores usam o *software* Revit e a ferramenta Dynamo para modelar os indicadores matemáticos e calculá-los a partir dos dados da edificação.

Assim como Honic *et al.* (2019), Atta *et al.* (2021) definem no modelo de PM uma estrutura tecnológica pré-definida utilizando as ferramentas computacionais necessárias. O *framework* proposto pelos autores é mostrado na Figura 6.

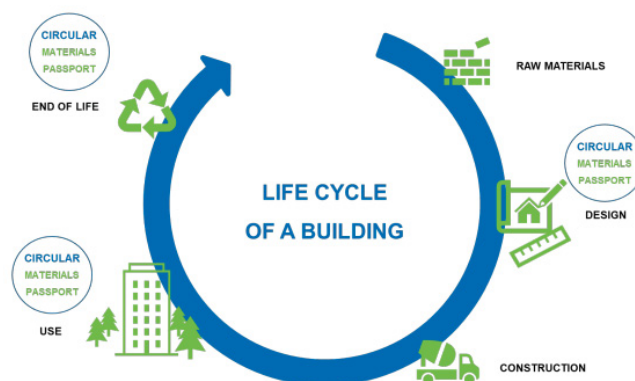
Figura 6 - FRAMEWORK PARA DESENVOLVIMENTO DE PM DIGITAL



FONTE: ATTA; BAKHOUM; MARZOUK (2021)

Associação *Smart Waste* Portugal (2021) propõe um modelo de PM que identifica as fases do ciclo de vida da edificação e a importância do passaporte em cada uma das etapas: projeto, uso e fim de vida. De acordo com os autores, o PM possui grande importância na etapa de projeto da edificação pois é nesta fase que os materiais e produtos podem ser inovados e pensados para as etapas de fim de ciclo como recuperação e reciclagem. Além disso, os autores direcionam a ferramenta para arquitetos, engenheiros, promotores imobiliários ou proprietários de edifícios por serem profissionais ativos na construção, manutenção e demolição das edificações. A Figura 7 mostra o PM nas etapas do ciclo de vida da edificação.

Figura 7 – APLICAÇÃO DO PM NO CICLO DE VIDA DE UMA EDIFICAÇÃO.



FONTE: Associação *Smart Waste* Portugal (2021).

Os autores assumem quatro objetivos para este modelo de PM. São eles: (1) fornecer informações técnicas dos produtos de construção; (2) promover a rastreabilidade dos usos e alterações dos produtos de construção ao longo do seu ciclo de vida; (3) descrever como os produtos de construção são implementados em um edifício e como eles estão conectados a ele e a outros produtos; e (4) avaliar o potencial de valorização, reutilização e reciclagem dos produtos de construção (ASSOCIAÇÃO SMART WASTE PORTUGAL, 2021).

O modelo de PM da Associação *Smart Waste* Portugal (2021) possui uma estrutura tecnológica pré-definida. A ferramenta foi definida com o *software* Excel e é apresentada no ANEXO 1 – PASSAPORTE DE MATERIAIS CIRCULAR DA ASSOCIAÇÃO SMART WASTE PORTUGAL.

2.3.1 Análise comparativa entre modelos de PM

Os quatro modelos de PM apresentados neste capítulo mostram que não há um consenso do que é um PM ou quais são as informações que a ferramenta deve armazenar, o que mostra grande oportunidade de pesquisa por parte da academia diante do tema, como conclui Benachio *et al.* (2020) em sua pesquisa.

A Tabela 1 sintetiza os modelos de PM apresentados nesta seção.

Tabela 1 – MODELOS DE PASSAPORTE DE MATERIAIS

Autores	Ano	Síntese
Munaro e Tavares	2021	Informações para recuperação e reuso dos componentes e materiais;

Autores	Ano	Síntese
Honic <i>et al.</i>	2019	Dividido em nove classificações de dados; Alto volume de dados; Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais não definidas. Dados são agrupados de acordo com os componentes da edificação; Possui três indicadores: reciclabilidade, dados de ACV; e quantidade de material que pode ser reciclado.
Atta <i>et al.</i>	2021	Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais definidas. Possui três indicadores matemáticos: pontuação de desconstrutibilidade; pontuação de recuperação; e pontuação ambiental;
Associação Smart Waste Portugal	2021	Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais definidas. O PM é dividido por etapa do ciclo de vida da edificação: projeto, uso e fim de vida; Alto volume de dados. Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais definidas.

FONTE: A autora (2023).

Além de não haver consenso sobre a definição de PM no meio acadêmico, é possível desenvolver análise sobre vantagens e desvantagens dos modelos de PM. Para o presente estudo, a análise de definições, vantagens e desvantagens, bem como a acessibilidade a dados foi essencial para tomada de decisão do modelo de PM a ser estudado. A Tabela 2 a seguir apresenta as vantagens e desvantagens de cada PM apresentado nesta seção.

Tabela 2 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MODELOS DE PM

Autores	Vantagens	Desvantagens
Munaro e Tavares	Acesso fácil a informações sobre a estrutura do PM; Possibilidade de utilizar <i>software</i> gratuito.	Alto volume de parâmetros; Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais não definidas.
Honic <i>et al.</i>	Poucos parâmetros para serem estudados; Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais pré-definidas.	<i>Software</i> inacessível financeiramente para esta pesquisa; PM se resume ao cálculo de três parâmetros matemáticos.
Atta <i>et al.</i>	Poucos parâmetros para serem estudados; Possibilidade de utilizar <i>software</i> gratuito. Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais pré-definidas.	PM se resume ao cálculo de três parâmetros matemáticos.
Associação Smart Waste Portugal	Estrutura tecnológica e ferramentas computacionais pré-definidas.	Alto volume de parâmetros. Artefato já foi desenvolvido; a pesquisa seria direcionada para a validação do artefato e teste de usabilidade com produtos do mercado.

FONTE: A autora (2023).

A Autora optou por direcionar o estudo do PM proposto por Munaro e Tavares (2021) por três motivos: (1) acesso fácil a informações sobre a estrutura do PM, pois os autores fazem parte do grupo de estudos desta pesquisa; (2) possibilidade de utilizar *softwares* gratuitos; e (3) possibilidade de desenvolvimento do artefato que estrutura o PM tecnologicamente. Apesar do terceiro motivo ter sido uma desvantagem na análise dos modelos de PM na Tabela 2, ele também se apresenta como uma oportunidade de pesquisa interessante.

2.4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA PASSAPORTE DE MATERIAIS

Este capítulo apresenta alguns recursos tecnológicos utilizados para desenvolvimento de PM.

2.4.1 *Building Information Modeling* (BIM)

O *Building Information Modeling*, em português Modelagem da Informação da Construção, é “uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise de modelos de construção” (EASTMANN *et al.*, 2011). O conceito envolve tecnologias e processos para uma prática projetual integrada. O objetivo é convergir esforços dos participantes do projeto em um único modelo de edificação (SCHEER, 2013).

NIBS (2007) diz que a premissa básica para o BIM é a colaboração entre os *stakeholders* da edificação em diversas etapas do seu ciclo de vida. A modelagem pode ser uma representação física e funcional de uma edificação, capaz de armazenar dados e compartilhar informações que serão responsáveis pelas tomadas de decisões durante o ciclo de vida dessa edificação. Para Eastman *et al.* (2011), o modelo gerado contém geometria e informações necessárias capazes de auxiliar a construção, fabricação e fornecimento de materiais durante a obra.

Modelos computacionais são desenvolvidos com o objetivo de simulação, complementação ou validação de cálculos matemáticos. Os modelos computacionais voltados à construção civil são chamados de Modelos BIM. Estes modelos são indispensáveis para a evolução e sucesso da tecnologia BIM, pois servem como base de dados para a equipe colaborativa envolvida no projeto bem como cria soluções e auxilia na tomada de decisões (CAMPESTRINI *et al.*, 2015).

Os modelos de edificação utilizando BIM são capazes de mostrar as relações entre os elementos construtivos, ou seja, as atualizações do modelo atualizam automaticamente as relações entre os elementos da edificação. Além disso, os modelos são capazes de conter todas as informações necessárias para cada elemento, componente ou material de acordo com as necessidades dos *stakeholders* (BASTA; SERROR; MARZOUK, 2020).

A EC na indústria da construção depende da gestão do ciclo de vida do ativo (CHAREF; EMMITT, 2021). Os autores dizem que existe sete novos usos BIM para EC. Os sete novos usos do BIM são: (1) modelo digital para SEOL, (2) desenvolvimento de passaporte de material, (3) banco de dados do projeto, (4) dados verificação, (5) avaliação de circularidade, (6) processos de recuperação de materiais e (7) banco de materiais.

Hao *et al.* (2020) acreditam que a minimização das emissões de gás carbônico pela indústria da construção civil ocorre a partir de novas tecnologias da construção e não apenas pelo melhor gerenciamento de resíduos e melhor concepção projetual. O BIM se apresenta como uma representação digital do objeto físico e funcional da construção, com vantagens de visualização, coordenação, simulação e otimização. Essas vantagens facilitam análises sustentáveis para projetos da construção civil.

Xue *et al.* (2021) mostram que a integração do BIM com a ACV possui grandes benefícios para todo o ciclo de vida da edificação, como por exemplo a quantificação de diferentes materiais, a seleção de materiais mais sustentáveis durante o início da etapa projetual e torna mais precisa a quantificação e avaliação da edificação.

São recentes os estudos de integração das ferramentas BIM com a ferramenta PM. Munaro e Tavares (2021) afirmam que o uso do PM associado à TI promove uma construção mais resiliente e circular. O PM baseado em BIM pode ter diferentes papéis ao longo do ciclo de vida das edificações, como uma ferramenta de otimização nas fases iniciais de projeto ou documentação e inventário de estoques de construção nas fases posteriores (HONIC; KOVACIC; RECHBERGER, 2019).

Rahla *et al.* (2021) destacam o fato de muitas pesquisas levantarem questões como o uso de passaporte de materiais e uso da tecnologia BIM para acompanhar e fazer gestão dos materiais e componentes da construção civil durante seu ciclo de vida e avaliar o nível de circularidade deles em edifícios. Outras vantagens da integração do BIM e PM são identificadas, como a mitigação de erros, a economia de

tempo e esforços e o compartilhamento de informações de sustentabilidade (ATTA; BAKHOUM; MARZOUK, 2021).

Munaro e Tavares (2021) concluem que o BIM é a ferramenta essencial na redução do desperdício, bem como sua integração com o PM torna possível os projetos de desconstrução. No entanto, os projetos de desconstrução, ou edificações como banco de materiais, exigem documentação e rastreo de informações dos materiais durante todo o ciclo de vida da edificação. Existe uma oportunidade de pesquisa sobre o tema pois não se sabe quais os dados e informações são indispensáveis para o PM fornecer durante o ciclo de vida das edificações, apoiando o BIM e as TIs.

2.4.2 Madaster

Madaster é considerado uma plataforma digital para registro online de informações sobre materiais e produtos. Nesta plataforma público de iniciativa privada, industrial e governamental são capazes de registrar e documentar materiais, produtos e elementos da construção civil. Os dados são armazenados de forma segura, podem ser realimentados e são facilmente geridos e compartilhados. Os dados são automatizados a partir de modelos BIM e as informações do passaporte são geradas a partir de bases de dados existentes na ferramenta (MADASTER, 2022). Neste modelo de PM, existem dois tipos de informação: (1) a quantidade de materiais e produtos; e (2) a circularidade destes materiais e produtos. No entanto, outras informações sobre os materiais podem ser adicionadas separadamente em documentos sobre a edificação (DRUIJFF, 2019)

Os dados armazenados nesse registro online contêm informações sobre a qualidade, origens e localização de materiais e produto; informações sobre o valor do material, circular e financeiro; informações de toxicidade; e informações de desmontabilidade e potencial de reaproveitamento dos materiais (MADASTER, 2022). No entanto, o objetivo de circularidade da plataforma só é atingido se os dados disponibilizados sobre os materiais e produtos forem suficientemente detalhados, bem como se os edifícios forem projetados de forma que os materiais e produtos sejam facilmente desmontados e destinados a novos ciclos (MADASTER, 2018).

A ferramenta apresenta o Indicador de Circularidade Madaster (*Madaster Circularity Indicator – MCI*), o qual calcula o nível de circularidade do edifício (de 0 a

100 por cento) a partir dos dados enviados para a plataforma. O indicador é calculado durante as fases do ciclo de vida da edificação: construção, uso e fim de vida (MADASTER, 2022). O indicador calcula a quantidade de materiais virgens, reciclados, reutilizados e renováveis usados em um determinado edifício; compara a vida útil de materiais e produtos usados em um projeto com as vidas médias de outros semelhantes; e avalia o destino pretendido a jusante de materiais e produtos (KEDIR *et al.*, 2021). O parâmetro MCI foi adaptado do parâmetro de circularidade original desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur e possibilita a comparação do nível de circularidade das edificações (MADASTER, 2018).

A Figura 8 mostra os parâmetros que são utilizados para desenvolver o PM via Madaster de acordo com a Associação *Smart Waste* Portugal (2021).

Figura 8 - PARÂMETROS DO PM DA FERRAMENTA MADASTER

GENERAL IDENTIFICATION	- Portfolio and owner name - Building name - Username - Address - Registration information - Designation - Surface area (m²) - Lot number - Legislative restrictions - Madaster information - Classification method (code) - Latest BIM information	- Building use - Gross surface area (m²) - Delivery and renewal date - Labels - BREEAM® - GPR-score - LEED® - MPG score indicator - Energy - Energy label - Energy performance coefficient - Energy index
	Identification of active data sources	Validation and explanation of data sources
BUILDING - MATERIALS	Identification of the quantity and type of materials used in each layer category of buildings	
BUILDING - PRODUCT	Identification of the quantity and type of products used in each layer category of buildings	
CIRCULARITY	Madaster Circularity Indicator (MCI)	
ADDITIONAL DATA	Disclaimer	About Madaster

FONTE: Associação *Smart Waste* Portugal (2021).

Alguns autores utilizaram a plataforma Madaster em suas pesquisas. Heisel e Rau-Oberhuber (2020) usam a plataforma para documentar os materiais e produtos utilizados em uma unidade urbana de Mineração e Reciclagem. O estudo serve como

um laboratório vivo e descreve o processo de alimentação dos dados na plataforma, apresentando o passaporte gerado bem como os indicadores de circularidade Madaster. De acordo com os autores, alguns parâmetros não são levados em consideração em alguns cálculos, como é o caso da energia incorporada dos materiais, o consumo de energia da operação do edifício e a água utilizada na produção e operação do ciclo de vida da edificação. No entanto, a ferramenta fornece indicadores e cálculos que são relevantes para tomada de decisão da circularidade dos materiais e é vista como um lugar onde existe uma documentação detalhada dos materiais que estão dentro dos edifícios. Com este cenário, o uso da plataforma fornece um novo nível de conhecimento sobre o ambiente construído como um banco de materiais.

Druijff (2019) estuda sobre a geração de passaporte de materiais na plataforma Madaster automaticamente. Na pesquisa, encontra dificuldades operacionais com a plataforma, pois nem sempre o modelo BIM atende os requisitos exigidos pela plataforma Madaster. Sendo assim, algumas etapas do processo devem ser feitas manualmente. O autor fornece estratégias de automatização para criação do passaporte bem como a atualização recorrente para mantê-lo.

Sebastian *et al.* (2022) utiliza a plataforma Madaster para avaliar os sistemas de ventilação e ar-condicionado de uma edificação, pois esses sistemas são comumente ignorados em estudos de ACV. O uso da plataforma teve como objetivo calcular o indicador de circularidade do sistema de ventilação e ar-condicionado e, com isso, os autores concluem que os materiais utilizados nesses sistemas possuem grande importância nos impactos de um estudo de ACV. Além disso, os autores concluem a partir do resultado do indicador que a massa dos materiais do sistema não possui grande importância no impacto da circularidade.

2.4.3 BuildingOne

BuildingOne (BO) é considerado uma “sala digital” ou “livro da construção” com acesso direto ao modelo BIM. Os termos são próprios da empresa alemã, *OneTools*, que comercializa a ferramenta. É possível utilizar a ferramenta de três formas: (1) como um *software* na versão *BuildingOne.Win*; (2) em uma extensão *web* na versão *BuindingOne.Web*; e (3) como um aplicativo para *Android* e *IOS* na versão *BuildingOne.App*. (ONETOOLS, 2023).

A ferramenta gerencia dados alfanuméricos para cômodos, edifícios e infraestrutura através da comunicação com modelo BIM. É uma estrutura de banco de dados aberta (estrutura SQL), originalmente criada como um sistema de informações prediais (HONIC *et al.*, 2019), que tem acesso bidirecional com os modelos das edificações, ou seja, os dados podem ser tratados em ambas as o7direções, *BuildingOne* ou *software* BIM. Os *softwares* BIM com que ele comunica são Revit, ArchiCAD e Vectorworks. De acordo com a empresa, a tecnologia é destinada a projetistas, arquitetos, engenheiros civis e gerenciadores de imóveis e instalações (ONETOOLS, 2023).

Honic *et al.* (2019) utiliza o BO para criação de um PM a partir de um modelo BIM, uma vez que o *software* Revit não suporta os parâmetros necessários do passaporte. O BO é utilizado como tratador de dados externos, ou seja, coleta dados relevantes de BIM e de eco-bancos (termo utilizado pelos autores) uma vez que a manipulação desses dados direto no modelo BIM possui dificuldades como falta de consistência e grandes quantidades de dados. A ferramenta possui alto nível de flexibilidade pois permite a adição de propriedades ao material.

2.4.4 Revit e Dynamo

O Revit é um *software* da Autodesk usado para projetar, documentar, visualizar e entregar projetos de arquitetura, engenharia e construção. Com o *software*, é possível modelar formas, estruturas e sistemas 3D; simplificar trabalho de documentação, com revisões instantâneas de plantas, elevações, tabelas, entre outros; e capacitar equipes multidisciplinares com ferramentas especializadas em um único ambiente de projeto (AUTODESK, 2022).

O Dynamo é uma ferramenta desenvolvida pela Autodesk com o objetivo de estender as funcionalidades do Revit. A ferramenta utiliza linguagens de programação visual, na qual o usuário não necessita de conhecimento prévio sobre programação. Dessa forma, é possível criar códigos automatizando tarefas repetitivas, códigos de interação com o modelo do Revit e códigos para criação de outros modelos com regras complexas e dados externos (AUTODESK, 2022).

Diversos estudos utilizam a ferramenta Dynamo da Autodesk para criação de indicadores qualitativos e quantitativos e/ou desenvolvimento de outras ferramentas afim de proporcionar edificações mais circulares e sustentáveis. Atta *et al.*, (2021)

propõem um modelo de PM integrando o *software* Revit e a ferramenta Dynamo. Neste estudo, a proposta de PM fornece informações sobre os materiais em diferentes estágios do ciclo de vida da edificação e um conjunto de dados quantitativos que avaliam a sustentabilidade da edificação. De acordo com os autores, a função do *software* é digitalizar informações de sustentabilidade combinando dados de sustentabilidade e geometria dos elementos de construção bem como aproveitar os recursos de automação da ferramenta.

Röck *et al.* (2018) usam a ferramenta Dynamo para integrar os dados do modelo BIM da edificação aos dados da ACV e calcular o impacto ambiental total incorporado da edificação. O modelo BIM proporciona os dados de geometria dos elementos de construção enquanto as bases de dados de ACV promovem os valores de impacto ambiental por metro quadrado (neste caso o impacto é medido em GWP/m^2). A função do Dynamo é calcular matematicamente o valor total de impacto dos elementos a partir da geometria do modelo e da taxa de impacto ambiental por metro quadrado de cada elemento. Este estudo, apesar de não estar diretamente associado ao uso de PM, desenvolve uma integração BIM-ACV que é essencial para o desenvolvimento de PMs.

Christian *et al.* (2021) propõem um estudo de circularidade e de carbono incorporado das edificações utilizando Revit e Dynamo. Os autores apresentam um estudo de caso de um projeto existente de uma edificação em Taiwan no qual comparam valores de índice de circularidade e carbono incorporado da edificação em duas situações. Na primeira situação, os autores utilizam o projeto original com os materiais propostos pelo projetista da edificação. Na segunda situação, os autores propõem opções de materiais mais circulares, como uso de agregado de concreto reciclado. O projeto da edificação foi modelado no Revit e os parâmetros necessários para cálculo foram disponibilizados em uma base de dados do Excel. Com o modelo BIM e a base de dados, os autores automatizaram os cálculos de índice de circularidade e carbono incorporado utilizando o Dynamo.

Por fim, Basta *et al.*, (2020) projetam a partir do Dynamo uma ferramenta de avaliação de desconstrutibilidade de estruturas metálicas. De acordo com os autores, a ferramenta possui benefício no que se refere a trabalhos de iterações e cálculos repetitivos. A ferramenta é utilizada principalmente para calcular índices necessários para o estudo de desconstrutibilidade.

2.4.5 Análise comparativa entre as ferramentas computacionais para PM

As ferramentas computacionais apresentadas podem ser comparadas entre si a partir das vantagens e desvantagens quanto a acessibilidade financeira e estrutura definida (ou não) do PM na ferramenta. A Tabela 3 apresenta a análise comparativa.

Tabela 3 - RECURSOS TECNOLÓGICOS PARA DESENVOLVIMENTO DE PM

Recurso	Vantagens	Desvantagens
BIM	Possibilidade de utilizar <i>softwares</i> acessíveis financeiramente e, por vezes, gratuitos.	Possibilidade de utilizar <i>softwares</i> inacessíveis financeiramente. A ferramenta não define o PM, ela é um meio de estruturá-lo tecnologicamente.
Madaster	Estrutura de projeto e de dados é pré-estabelecida, portanto basta atender os requisitos da plataforma para utilizá-la e gerar o PM.	A ferramenta não é gratuita;
BuildingOne	Estrutura de base de dados livre, o que dá ao projetista liberdade de uso de dados.	A ferramenta não é gratuita; A ferramenta não define o PM, ela apenas fornece dados para um PM pré-estabelecido.
Revit e Dynamo	Plataformas acessíveis no mercado e, para estudantes, é gratuita.	As ferramentas não definem o PM, elas apenas fornecem os dados para um PM pré-estabelecido.

FONTE: A autora (2023).

A análise mostra que as ferramentas Madaster e *BuildingOne* são inacessíveis financeiramente para o presente estudo, enquanto o BIM e o *software* Revit e Dynamo atendem este requisito. O BIM, o *software* Revit e Dynamo e o *BuildingOne* não possuem estrutura pré-definida do PM. Apesar de serem desvantagens na análise, a Autora compreende que há uma oportunidade de pesquisa de utilizar estas ferramentas para desenvolvimento do PM proposto por Munaro e Tavares (2021). Assim, conclui-se que o BIM e o *software* Revit e Dynamo são possibilidades ferramentas computacionais para a presente pesquisa.

Outro fator importante para análise é o uso das ferramentas computacionais no Brasil, pois ajuda a compreender se é possível levar o tema de PM para os projetistas brasileiros. O Madaster é uma ferramenta desenvolvida na Holanda, enquanto o *BuildingOne* é uma ferramenta alemã. Ambas as ferramentas podem ser utilizadas em inglês, o que favorece a difusão do uso internacionalmente. Por outro

lado, o BIM e, consequentemente o Revit e o Dynamo, são ferramentas mais presentes na prática projetual brasileira.

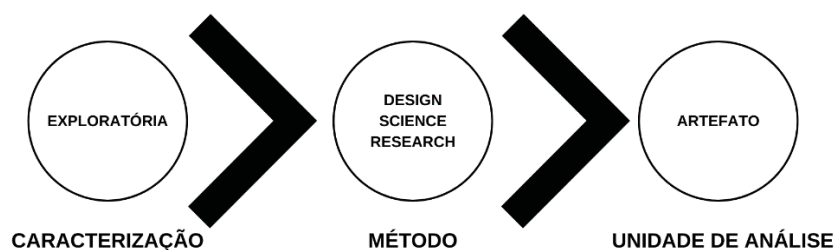
Diante da análise comparativa desta seção e da análise comparativa da seção 2.3.1, a Autora optou por desenvolver o PM proposto por Munaro e Tavares (2021) utilizando o BIM através do *software* Revit e Dynamo. A escolha do *software* Revit e Dynamo se deu pela possibilidade do uso gratuito a partir da licença de estudante que a Autodesk oferece, apesar de existirem outros *softwares* BIM no mercado.

3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa é caracterizada como exploratória sob seu propósito. Santos (2018) define a pesquisa exploratória quando há pouca compreensão sobre o fenômeno a ser estudado, enquanto para Gil (2008) a pesquisa exploratória tem como finalidade desenvolver e esclarecer conceitos.

A Figura 9 sintetiza a caracterização desta pesquisa.

Figura 9 - CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA



FONTE: A autora (2023).

O método científico é o *Design Science Research* (DSR) que é detalhado na seção 3.1. A pesquisa está contextualizada dentro do método DSR pois tem como unidade de análise um artefato.

3.1 MÉTODO CIENTÍFICO

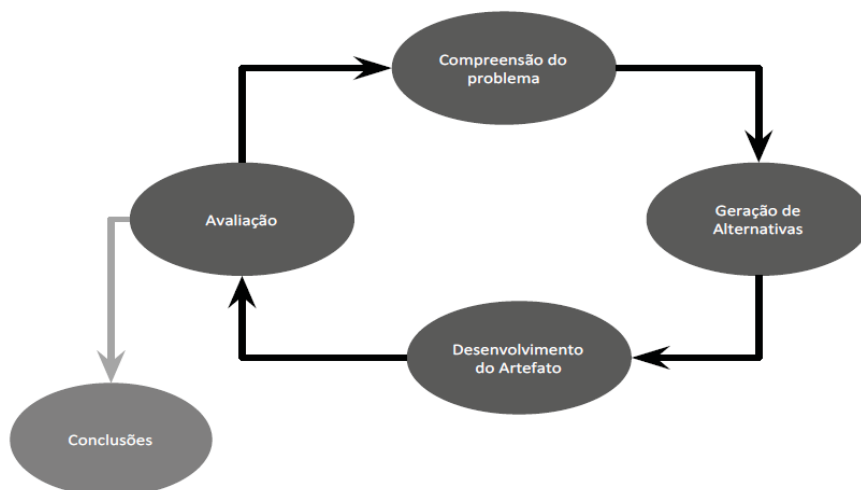
O presente estudo visa desenvolver o modelo de passaporte de Munaro e Tavares (2021) de um elemento de construção civil composto por mais de um material utilizando tecnologia BIM. A intenção é utilizar *softwares* acessíveis e disponíveis no mercado e na academia para modelar o PM.

A pesquisa está contextualizada e sendo desenvolvida dentro do método científico DSR. O método busca desenvolver artefatos com objetivo de mudar e melhorar o mundo real, presente ou futuro (MYERS; VENABLE, 2014; SANTOS, 2018). O processo do DSR é considerado um conjunto de atividades que, ao final, cria um produto inovador onde o objetivo é a utilidade. O produto pode ser chamado de artefato, método, construções, modelos e instâncias (HEVNER *et al.*, 2004). O

método é utilizando como forma de diminuir o distanciamento entre a teoria e a prática (DRESCH *et al.*, 2015).

A Figura 10 apresenta o ciclo das etapas da pesquisa em *Design Science* proposto por Santos (2018). Neste ciclo, encontram-se cinco etapas. São elas: (1) compreensão do problema; (2) geração de alternativas; (3) desenvolvimento do artefato; (4) avaliação; e (5) conclusão. O ciclo pode se repetir quantas vezes forem necessárias entre as etapas de (1) a (4) até se obter o artefato esperado e, então, concluir a pesquisa. A compreensão do problema, no início do ciclo, pode ser parcial em um primeiro momento pois, com as etapas subsequentes, o próprio artefato possibilita o refinamento do problema (SANTOS, 2018).

Figura 10 - CICLO DAS ETAPAS DA PESQUISA EM DESIGN SCIENCE

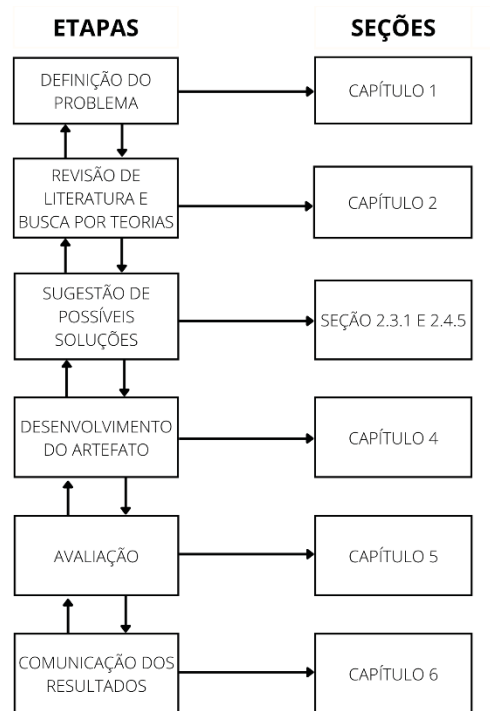


FONTE: SANTOS (2018)

Outros autores definem as etapas do ciclo da DSR. Walls, Wyidmeyer e Sawy (1992) sugerem a etapa de revisão da literatura ou busca por teorias existentes após a compreensão do problema. Aken *et al.* (2012) e Cole *et al.* (2005) propõem a etapa de reflexões e aprendizagens antes das conclusões.

O presente estudo possui um protocolo de pesquisa elaborado pela Autora e baseado nos ciclos definidos por Santos (2018), Walls, Wyidmeyer e Sawy (1992), Gregor e Jones (2007) e Alturki, Gable e Bandara (2011) e está representado na Figura 11.

Figura 11 - PROTOCOLO DA PESQUISA DE ACORDO COM AS ETAPAS DO DSR

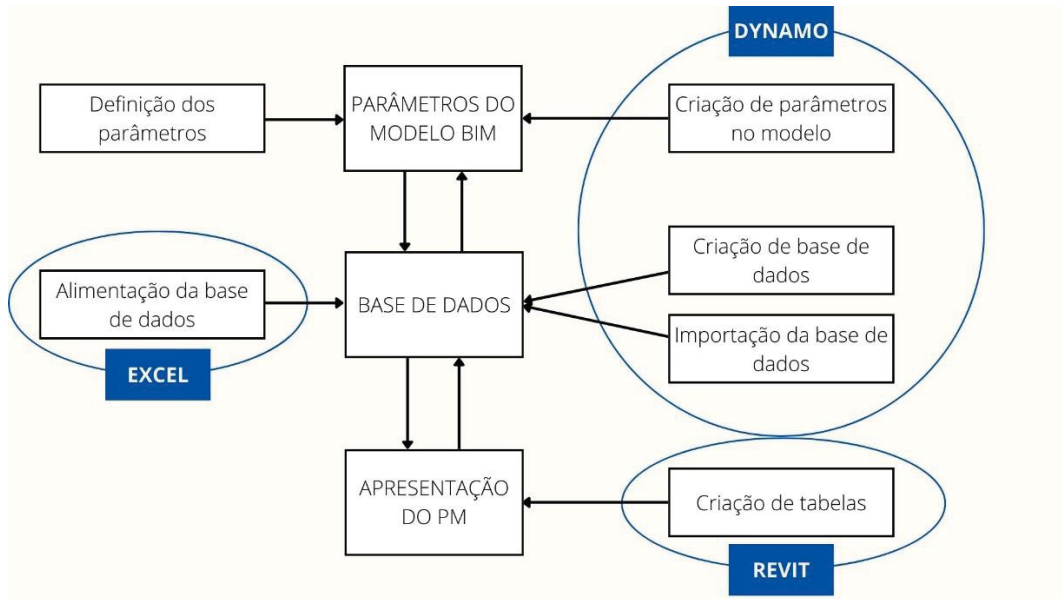


FONTE: A autora, adaptado de Santos (2018), Wall *et al.* (1992), Gregor e Jones (2007) e Bandara (2011).

A primeira etapa, que se refere a definição do problema, está descrita no Capítulo 1. A compreensão do problema foi feita a partir da revisão de literatura e/ou busca por teorias e está descrita no Capítulo 2. As seções 2.3.1 e 2.4.5 analisam as possíveis soluções para o desenvolvimento do artefato e definem a melhor opção.

O Capítulo 4 apresenta o artefato proposto. O desenvolvimento do artefato pode utilizar algoritmos computacionais, infográficos, *mock-ups*, maquetes, entre outros (LACERDA *et al.*, 2013). Simon (1996) define artefato como tudo o que não é natural e foi construído pelo homem. A Figura 12 apresenta o esquema detalhado do desenvolvimento do artefato, bem como mostra os recursos tecnológicos utilizados em cada etapa do desenvolvimento.

Figura 12 – ESQUEMA DO DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

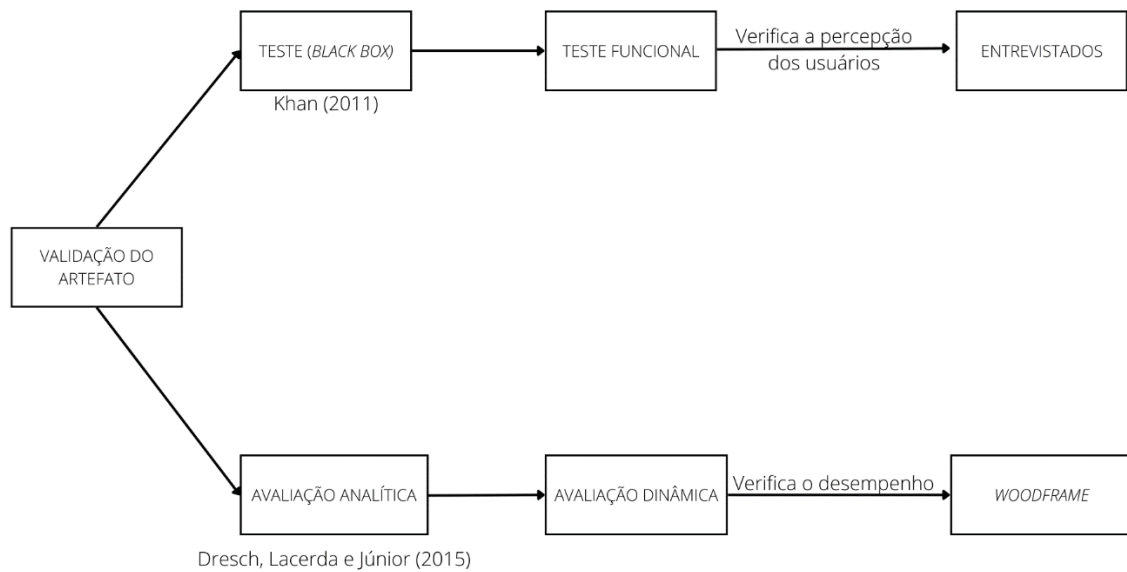


FONTE: A autora (2022).

O Capítulo 5 apresenta o protocolo de avaliação do artefato que está representado na Figura 13. A validação foi feita em duas etapas. A primeira, definida como teste *black box* do tipo funcional, o qual verifica os parâmetros desejados do ponto de vista do usuário sem que o usuário precise entender a estrutura interna do sistema. O objetivo é testar a funcionalidade e a utilidade do artefato (KHAN, 2011). Para este teste, a Autora entrevistou quatro diferentes perfis de profissionais no mercado.

A segunda validação foi definida como avaliação analítica dinâmica e estuda o artefato durante o uso para avaliar as qualidades, como o desempenho (DRESCH, LACERDA E JUNIOR, 2015). Para esta validação, utilizou-se dados dos materiais de *Woodframe*.

Figura 13 - PROTOCOLO DE VALIDAÇÃO DO ARTEFATO



FONTE: A autora (2022).

Por fim, a comunicação dos resultados é feita no Capítulo 6, bem como as conclusões, aprendizados e sugestões para futuras pesquisas.

4 APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO

Este capítulo apresenta a etapa de desenvolvimento do artefato da pesquisa. Serão descritas todas as etapas de modelagem do PM utilizando Revit, Dynamo e *softwares* de apoio (como o Excel). O *software* Revit foi escolhido por possuir licença gratuita para estudantes. O Dynamo é uma ferramenta gratuita de código aberto que estende as funcionalidades do Revit a partir da “programação visual”, na qual o usuário desenvolve códigos sem possuir conhecimentos prévios sobre programação.

A modelagem foi feita de forma que os parâmetros sejam inseridos por material. Com base na pesquisa de Honic *et al.* (2019), apresentada na seção 2.3 deste documento, a junção de dados e parâmetros dos materiais e componentes compõem a informação necessária do elemento de construção para o resultado do PM.

A apresentação do artefato é feita com dados sem valor para os parâmetros. O objetivo deste capítulo é apresentar o passo a passo do desenvolvimento do artefato e, para isso, os parâmetros precisam ser preenchidos com algum tipo de informação. Assim, todos os dados apresentados não são reais.

4.1 PARÂMETROS DO MODELO BIM

O Revit possui uma biblioteca genérica com diversas famílias de componentes da construção, como paredes, janelas, tubulações, elementos estruturais, entre outros. Essas famílias são divididas em categorias e as categorias são divididas em elementos tipo. Os elementos tipo por sua vez são divididos em componentes e os componentes são divididos em subcomponentes e materiais. A Figura 14 de Araujo (2018) ilustra as categorias existentes no modelo BIM do Revit.

Figura 14 – PARTES DO MODELO BIM



FONTE: ARAUJO (2018).

Os dados e informações que compõem o PM foi inserido no modelo através dos Parâmetros do Revit. Os Parâmetros do Revit armazenam e comunicam dados e informações sobre os elementos de um modelo. O *software* possui dois tipos de parâmetros: 1) Parâmetros de Projeto; e 2) Parâmetros Compartilhados. O primeiro se refere a parâmetros que não podem ser compartilhados em outros projetos e não podem ser utilizados em identificadores do *software*. Por outro lado, os Parâmetros Compartilhados podem ser compartilhados em diversas famílias e projetos, pois são armazenados em um arquivo externo e independente de qualquer outro arquivo. Estes parâmetros podem ser utilizados em identificadores e podem gerar tabelas que exibe várias categorias de famílias ou tabelas multi-categorias (AUTODESK, 2023).

O *software* Revit possui outra classificação quanto aos seus parâmetros. Os parâmetros são divididos em Tipo e Instância. O primeiro é atribuído ao elemento Tipo do projeto e o segundo é atribuído ao componente, subcomponente ou material (conforme apresentado na Figura 14) (AUTODESK, 2023).

Para desenvolvimento do modelo de PM neste estudo, optou-se por escolher Parâmetros de Projeto e Parâmetros de Instância. A escolha do primeiro se deve ao fato de o Dynamo automatizar a criação dos parâmetros. Dessa forma, o trabalho operacional será feito pela rotina desenvolvida e a criação de parâmetros a cada projeto não será trabalhosa. Quanto a classificação de Instância, espera-se com esta pesquisa possa resultar em agrupamentos de dados de materiais de forma a compor um PM de um elemento tipo, de uma categoria, de uma família ou de uma edificação. Ainda em relação aos Parâmetros Tipo e de Instância, a modelagem do PM deve ser feita a partir das naturezas dos dados existentes, sejam eles dados do elemento tipo ou do material. Por exemplo: ao modelar uma parede de alvenaria podemos inserir dados e informações do elemento “parede de alvenaria” nos Parâmetros de Tipo. Caso os dados existentes sejam referentes aos componentes da parede de alvenaria (argamassa e tijolos), podemos inserir dados e informações destes componentes nos Parâmetros de Instância. Além disso, os parâmetros podem ser divididos em Parâmetros de Tipo e de Instância caso a natureza dos dados também seja dividida em dados de materiais e dados de elementos.

4.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS

O PM a ser desenvolvido conta com 49 parâmetros que são divididos em nove grupos. Os grupos foram criados de acordo com a divisão do PM de Munaro e Tavares (2021) apresentado na Figura 4 resultando em: 1) Dados Gerais; 2) Segurança e saúde do material; 3) Sustentabilidade; 4) Projeto e Produção; 5) Fases de Uso e Operação; 6) Guia de desmontagem; 7) Potencial de reuso e reciclabilidade; 8) Histórico; e 9) Outros.

Quanto aos tipos de formato dos parâmetros, são quatro tipos: texto, número, imagem e URL. O tipo texto se refere aos dados e informações que serão armazenados em forma de texto. O tipo número se refere ao armazenamento através de dados numéricos. O tipo imagem é para armazenar imagens do material. O quarto, tipo URL, se refere aos parâmetros que possuem arquivos externos ao Revit com dados e informações necessários. O URL proposto é o localizador do arquivo em pastas compartilhadas com os envolvidos no projeto em questão e/ou endereços da web. Sendo assim, os envolvidos no projeto precisam acessar o localizador URL e obter documentos da DAP, Manual de montagem e desmontagem, Instruções de instalação e tratamento, entre outros.

A Tabela 4 apresenta os parâmetros criados bem como sua classificação de grupo e o tipo de formato do dado que será armazenado em cada parâmetro.

Tabela 4 – PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA O MODELO DE PM PROPOSTO

Nome do Grupo	Parâmetro	Tipo de formato
Dados Gerais	Nome comercial	Texto
	Nome do fabricante	Texto
	Composição do material	Texto
	Propriedades físicas	Número
	Propriedades químicas	Texto
	Propriedades biológicas	Texto
	Imagem do produto	Imagem
	Principal função	Texto
Saúde do material	Avisos (informações de segurança)	Texto
	Recomendações (informações de segurança)	Texto
	Toxicidade (composição do material)	Texto
	Grau de risco de incêndio	Texto
	Grau de risco (outros)	Texto
Sustentabilidade	DAP (Declaração Ambiental de Produto)	URL
	Energia Embutida (EE)	Número
	EE no Transporte	Número
	AE (Água Embutida)	Número
	GWP (Emissão de CO ₂ eq)	Número
	ODP (Depleção da Camada de Ozônio)	Número
	AP (Acidificação)	Número
	EP (Eutrofização ou Nutrificação)	Número
	POCP	Número
	ADP-elements	Número
	ADP-fossil fuels	Número
	Índice de circularidade	Número
	Material reciclado/reutilizado/renovável?	Texto
Projeto e Produção	Técnicas e processos de manufatura	Texto
	Instruções de instalação e tratamento	URL
	Certificações	Texto
	Dados de rastreabilidade (RFID tags)	Texto
	Requisitos para transporte	Texto
	Características de embalagem	Texto
	Informações da cadeira de suprimentos	Texto
Fase de Uso e Operação	Posicionamento e localização do edifício	Texto
	Instruções de limpeza	Texto
	Instruções de manutenção	Texto
	Detalhes e requisitos de conexões	URL
	Garantias e tempos de uso esperados	Texto

	Consumo de energia	Número
	Consumo de água	Número
	Influências externas	Texto
Guia de desmontagem	Manual de montagem e desmontagem	URL
	Requisitos para embalagem/armazenamento	URL
	Instruções de transporte	Texto
Potencial de reuso e reciclabilidade	Considerações para fim de vida (reuso, reciclagem, remodelagem)	Texto
	Opções de disposição final	Texto
	Opções de decomposição	Texto
Histórico	Histórico	Texto
Outros	Outros	Texto

FONTE: A autora (2022).

O grupo Sustentabilidade é o único que não apresenta os parâmetros da mesma forma que Munaro e Tavares (2021). Para esse grupo, a Autora identifica a melhor forma de apresentar dados e informações de sustentabilidade da DAP, Avaliação do Ciclo de Vida, bem como valores de energia e água embutidas. A Autora também inclui o parâmetro “Índice de circularidade”, uma vez que este parâmetro é encontrado nos PMs apresentados na seção 2.3. Sendo assim, os parâmetros de sustentabilidade definidos foram: 1) DAP (Declaração Ambiental de Produto); 2) Energia Embutida (EE); 3) EE no Transporte; 4) AE (Água Embutida); 5) *GWP* (Emissão de CO₂eq); 6) *ODP* (Depleção da Camada de Ozônio); 7) *AP* (Acidificação); 8) *EP* (Eutrofização ou Nutrificação); 9) *POCP*; 10) *ADP-elements*; 11) *ADP-fossil fuels*; 12) Índice de circularidade; e 13) se o material é reciclado, reutilizado ou renovável.

A Tabela 5 resume os parâmetros de sustentabilidade e suas unidades de medida.

Tabela 5 - UNIDADE DE MEDIDA DOS PARÂMETROS DE SUSTENTABILIDADE

Nome do Grupo	Parâmetro	Unidade de medida
Sustentabilidade	DAP (Declaração Ambiental de Produto)	Sem unidade de medida
	Energia Embutida (EE)	MJ/kg
	EE no Transporte	MJ/kg
	AE (Água Embutida)	kL/m ² ou kL/kg*
	GWP (Emissão de CO ₂ eq)	kg CO ₂ -eq/kg
	ODP (Depleção da Camada de Ozônio)	kg CFC 11-eq/kg
	AP (Acidificação)	kg SO ₂ -eq/kg
	EP (Eutrofização ou Nutrição)	kg PO ₄ ⁻³ -eq/kg
	POCP	kg C ₂ H ₄ -eq/kg
	ADP-elements	kg Sb-eq/kg
	ADP-fossil fuels	MJ/kg
	Índice de circularidade	%
	Material reciclado/reutilizado/renovável?	Sem unidade de medida

FONTE: A autora (2022).

LEGENDA: *Unidade de medida varia de acordo com a unidade de medida do material no modelo.

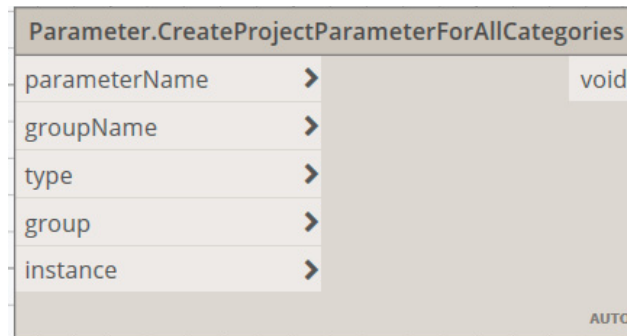
4.3 CRIAÇÃO DE PARÂMETROS UTILIZANDO DYNAMO

Os parâmetros foram criados utilizando o Dynamo. A ferramenta automatizou um trabalho extenso e manual de criação de parâmetros. Foi desenvolvido um código de programação visual: código para criação de Parâmetros de Projeto e de Instância. Os códigos criados, também chamados de rotinas, são sequências de tarefas definidas como “nós”.

Para o desenvolvimento da rotina de Parâmetros de Projeto e de Instância, utilizou-se o nó “Parameter.CreateProjectParameterForAllCategories” que está ilustrado na Figura 15.

Existem cinco dados de entrada: 1) nome do parâmetro; 2) nome do grupo; 3) tipo; 4) grupo; e 5) se é de Instância ou não. O primeiro se refere ao nome do parâmetro a ser criado; o segundo se refere à classificação que o projetista dá ao parâmetro (exemplo: dados gerais, sustentabilidade, saúde e segurança, entre outros); o terceiro se refere ao formato do dado de parâmetro (texto, número, imagem, entre outros); o quarto se refere a classificação dentro das propriedades do material do Revit; e o quinto se refere a este parâmetro ser para um elemento tipo ou para um material.

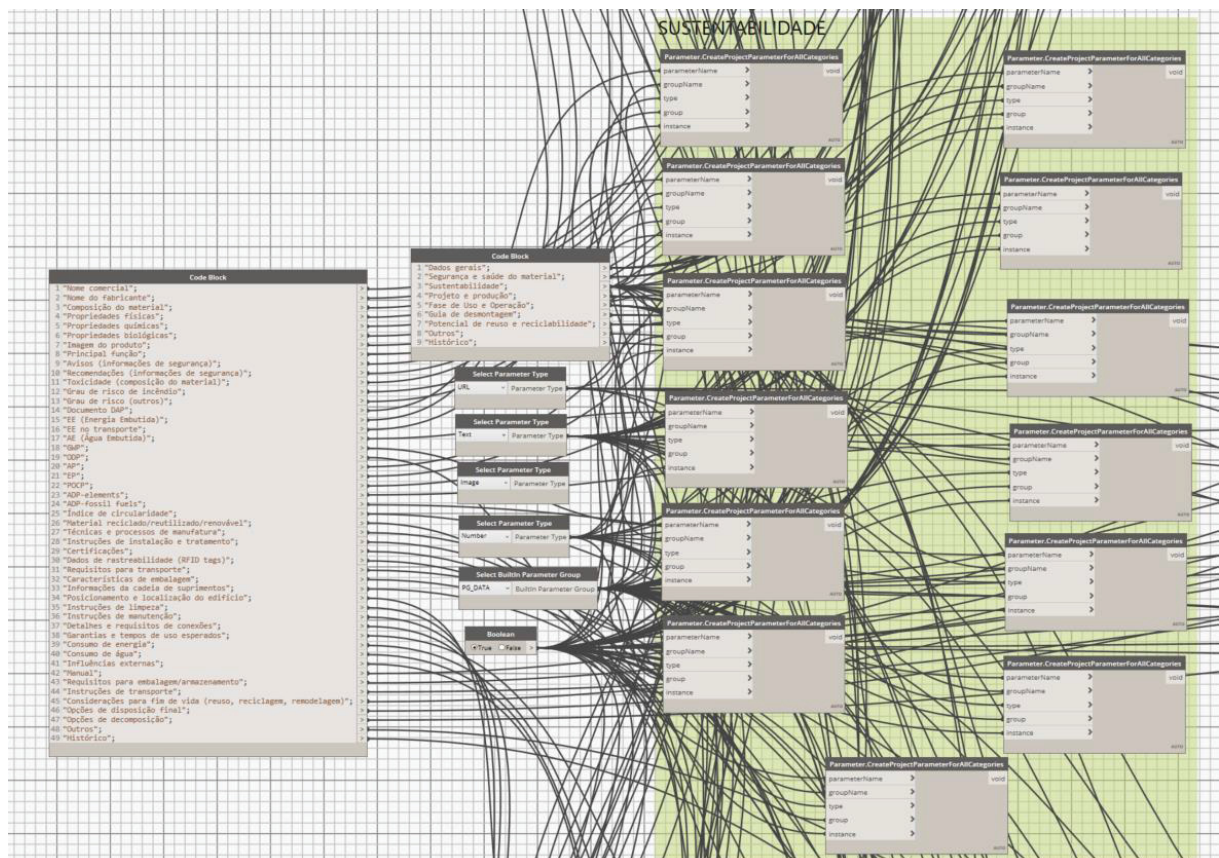
Figura 15 – NÓ DE CRIAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA



FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

A Figura 16 apresenta a rotina de criação dos Parâmetros de Projeto e de Instância do bloco de Sustentabilidade do PM.

Figura 16 - ROTINA DE CRIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA



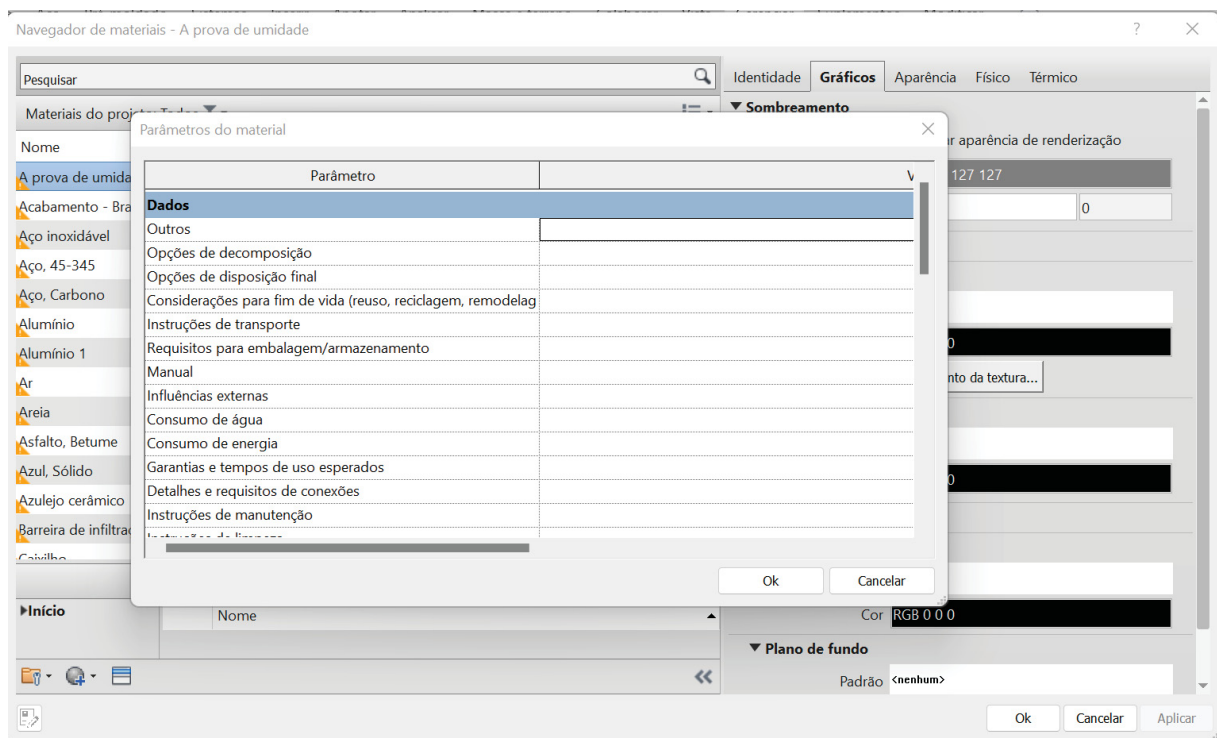
FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

Apesar de a programação visual ser simples e não requerer conhecimentos prévios de programação, fluxos complexos não são fáceis de executar e visualizar

com essa ferramenta. O fluxo completo desta etapa da programação pode ser visto no APÊNDICE A – ROTINA DE CRIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA.

Os parâmetros criados ficam na janela Parâmetro de Material do Revit conforme indicado na Figura 17.

Figura 17 - PARÂMETROS DE MATERIAIS NO REVIT

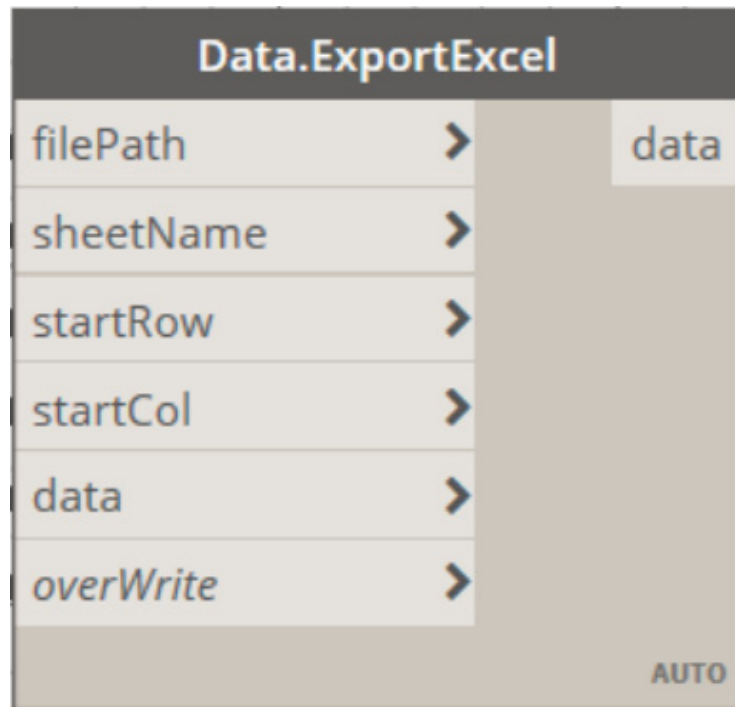


FONTE: A autora, via Revit (2022).

4.4 CRIAÇÃO DA BASE DE DADOS A PARTIR DOS MATERIAIS DO MODELO UTILIZANDO DYNAMO

Nesta etapa da pesquisa, a ferramenta Dynamo exporta uma base de materiais existentes no modelo do Revit utilizando o nó “Data.ExportExcel”. A Figura 18 mostra o nó e seus parâmetros de entrada: caminho do arquivo; nome da aba; linha de início; coluna de início; dados a serem exportados; e se a rotina deve reescrever os dados toda vez que for executada.

Figura 18 - NÓ "DATA.EXPORTEXCEL"



FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

Este nó exige que a planilha em formato .xlsx seja criada e armazenada em um diretório bem como exige que a aba da planilha seja definida. Por tanto, o primeiro passo desta etapa é criar o arquivo .xlsx.

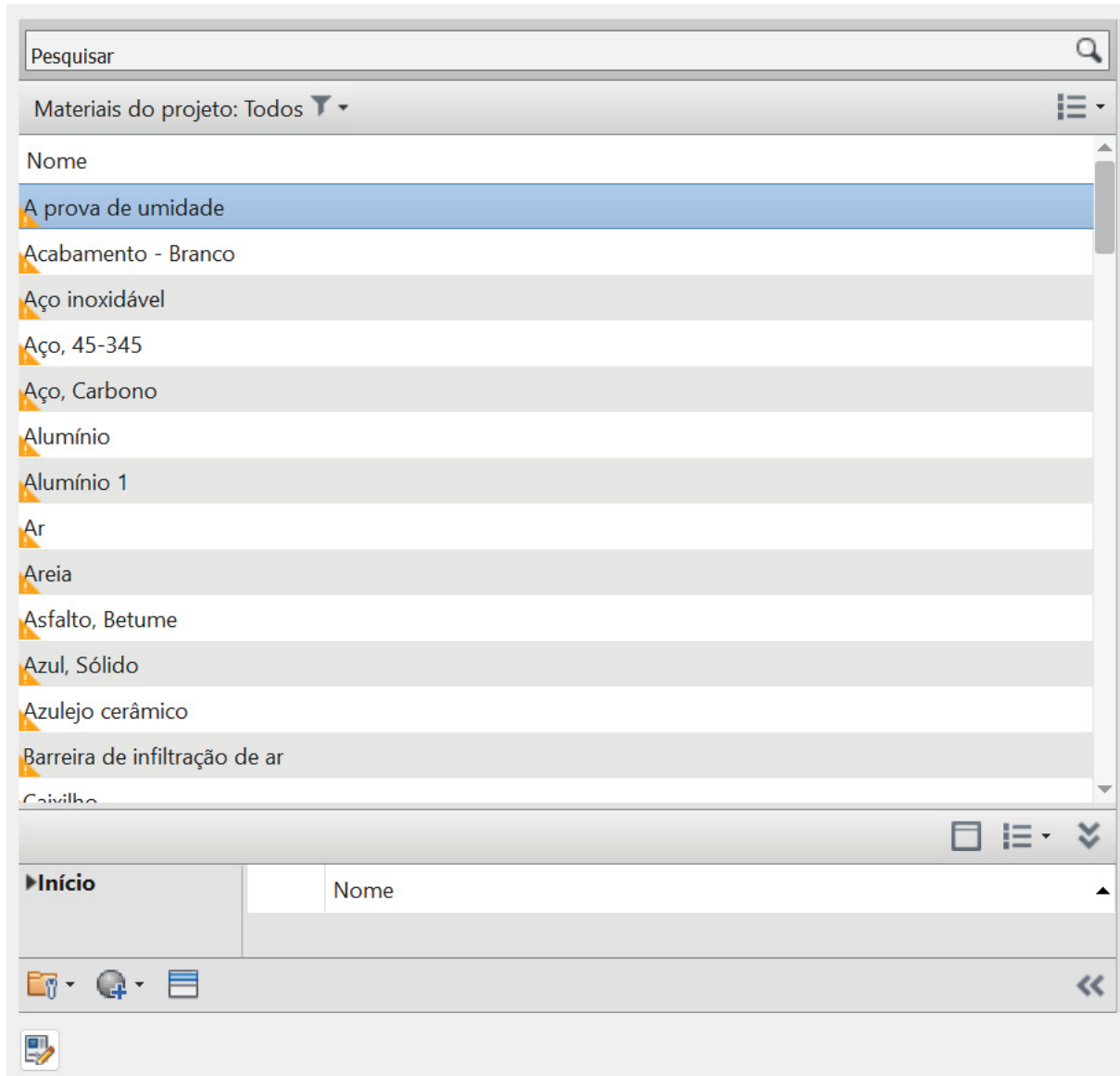
Os cinco dados de entrada foram programados com outros nós no Dynamo. A rotina completa pode ser vista no APÊNDICE B – ROTINA DE EXPORTAÇÃO DA LISTA DE MATERIAIS DO MODELO REVIT.

O parâmetro de entrada “dados a serem exportados” foi definido como nome do material e descrição do material. Assim, essas duas informações serão as referências para identificar o material no PM proposto.

A Figura 19 mostra parte dos materiais existentes no modelo do Revit.

Figura 19 - MATERIAIS DO MODELO REVIT

Navegador de materiais - A prova de umidade



FONTE: A autora, via Revit (2022).

A Figura 20 mostra o arquivo .xlsx gerado pela rotina do Dynamo ilustrada no APÊNDICE B – ROTINA DE EXPORTAÇÃO DA LISTA DE MATERIAIS DO MODELO REVIT. Ao executar a rotina, o Dynamo cria automaticamente dois materiais, o “Dynamo” e o “DynamoError”, apresentados na figura. A Autora não identificou o motivo do erro. Para dar sequência ao desenvolvimento da pesquisa, optou-se por excluir os elementos manualmente da base do Excel e do modelo do Revit.

Figura 20 - ARQUIVO .xlsx CRIADO PELA ROTINA DYNAMO

	A	B	C	D	E	F	G	H
74	Zonas do sistema							
75	Espaços analíticos							
76	Superfície analítica – Paredes externas							
77	Superfície analítica – Telhados							
78	Superfície analítica – Lajes no eixo							
79	Superfície analítica – Paredes internas							
80	Superfície analítica – Pisos internos							
81	Superfície analítica – Forros							
82	Superfície analítica – Superfícies de ar							
83	Superfície analítica – Paredes subterrâneas							
84	Superfície analítica – Janelas operáveis							
85	Superfície analítica – Claraboias operáveis							
86	Superfície analítica – Portas corredeiras							
87	Superfície analítica – Aberturas de ar							
88	Superfície analítica – Sombras							
89	Dynamo							
90	DynamoError							

FONTE: A autora, via Excel (2022).

A partir da lista de materiais exportada, e com o auxílio do Excel como *software* de apoio, alimentou-se a base com dados sem valor. Para os dados no formato texto, utilizou-se as letras do alfabeto. Para dados numéricos, utilizou-se números múltiplos de 10. E para dados URL, utilizou-se um *link* qualquer. A Figura 21 apresenta parte da base de dados preenchida. A tabela completa está disponível no [link Base de dados.xlsx](#).

Figura 21 - BASE DE DADOS PREENCHIDA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	
1	NOME	DESCRIÇÃO	NOME COMPOSTO	COMPOSTO	PROPRIEDADE	PROPRIEDADE	Imagem	PRINCIPAIS	Arquivos	Requerimentos	Técnicas	Grupos de	Grupos de	DAI	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE	EE
2	Padrão		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
3	Material pré-definido de parede		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
4	Telhado padrão		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
5	Vidro	Vidro de sílica	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
6	Fase - Temporária		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
7	Placa de gesso de parede	Placa de gesso de parede	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
8	Placa de forro 600 x 1200	Azulejo de forro acústico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
9	Placa de forro 600 x 600	Azulejo de forro acústico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
10	Unidades de alvenaria de concreto	Unidades de alvenaria de concreto	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
11	Isolamento rígido	Placa de isolamento com espuma rígida	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
12	A prova de umidade	A prova de umidade	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
13	Areia	Areia	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
14	Concreto, Moldado in loco	Material físico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
15	Material pré-definido de piso		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
16	Estrutura, Camada de cimento de barra de	Calços de barra, espaço de ar térmico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
17	Concreto, Faixa de areia/cimento	Revestimento de laje de concreto	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
18	Telhado - Casca		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
19	Tipo, Comum	Tipo comum	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
20	Camada de suporte de metal	Moldura do manômetro de aço leve, camada de ar térmico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
21	Compensado, Revestimento	Compensado, grade de revestimento	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
22	Ar	Ar	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
23	Barreira de inibição de ar	Material físico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
24	Retardador de vapor	Membrana de película de polietileno	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
25	Preenchimento da cavidade	Isolamento de preenchimento solto	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
26	Terra	Solo	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
27	Deck de metal	Aço, acabamento na usina	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
28	Alumínio	Alumínio, 6061	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
29	Telhado, Membrana EPDM	Membrana de telhado EPDM	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
30	Azulejo cerâmico	Material físico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
31	Telhado, Azulejo	Azulejo de telhado de barro	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
32	Asfalto, Betume	Material de telhado betuminoso	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
33	Ferro do telhado	Ferro saturado de asfalto	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
34	Fase - Nova		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
35	Porta - Painel		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
36	Cavilha		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
37	Porta - Batente		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
38	Acabamento - Branco		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
39	Porta - Batente/Montante		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
40	Porta - Montante		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
41	Rendecização, Segr. Suave	Material físico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
42	Rendecização, Segr. Texturizada	Material físico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
43	Capote	Capote, marrom	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
44	Acu, Sólido		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
45	Preenchimento		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
46	Fiso de massa pré-definida		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
47	Aço, 45-345	Aço 345 MPa	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
48	Plástico	Plástico genérico	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
49	Origem de luz padrão		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	
50	Fase - Demit		A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E	https://	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim	A	

Barra de dados IGV

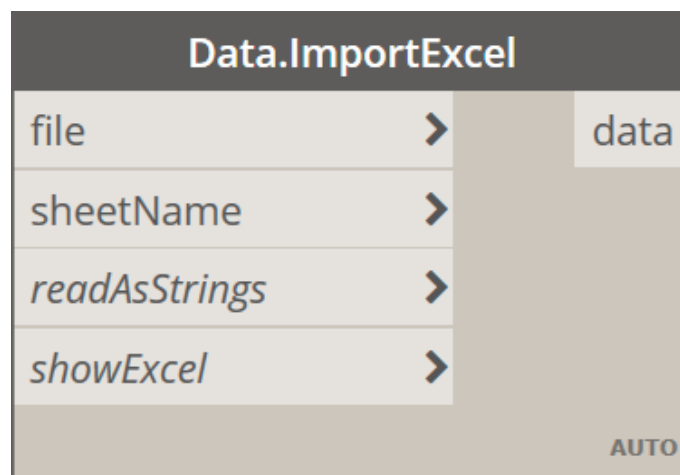
</

FONTE: A autora, via Excel (2023).

4.5 IMPORTAÇÃO DE DADOS DOS MATERIAIS DO MODELO UTILIZANDO DYNAMO

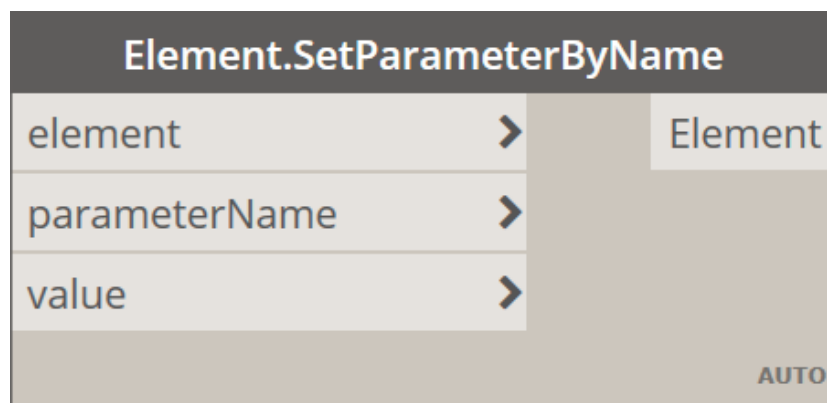
A importação de dados dos materiais para o modelo Revit é feita através de uma automatização utilizando o Dynamo. A rotina foi desenvolvida com base em dois nós: o primeiro nó busca os dados da base de dados criada (e descrita na subseção anterior); o segundo importa estes dados para os parâmetros selecionados. Os nós são chamados, respectivamente, “Data.ImportExcel” e “Element.SetParameterByName” e estão representados na Figura 22 e Figura 23.

Figura 22 - NÓ "DATA.IMPORTEXCEL"



FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

Figura 23 - NÓ "ELEMENT.SETPARAMETERBYNAME"

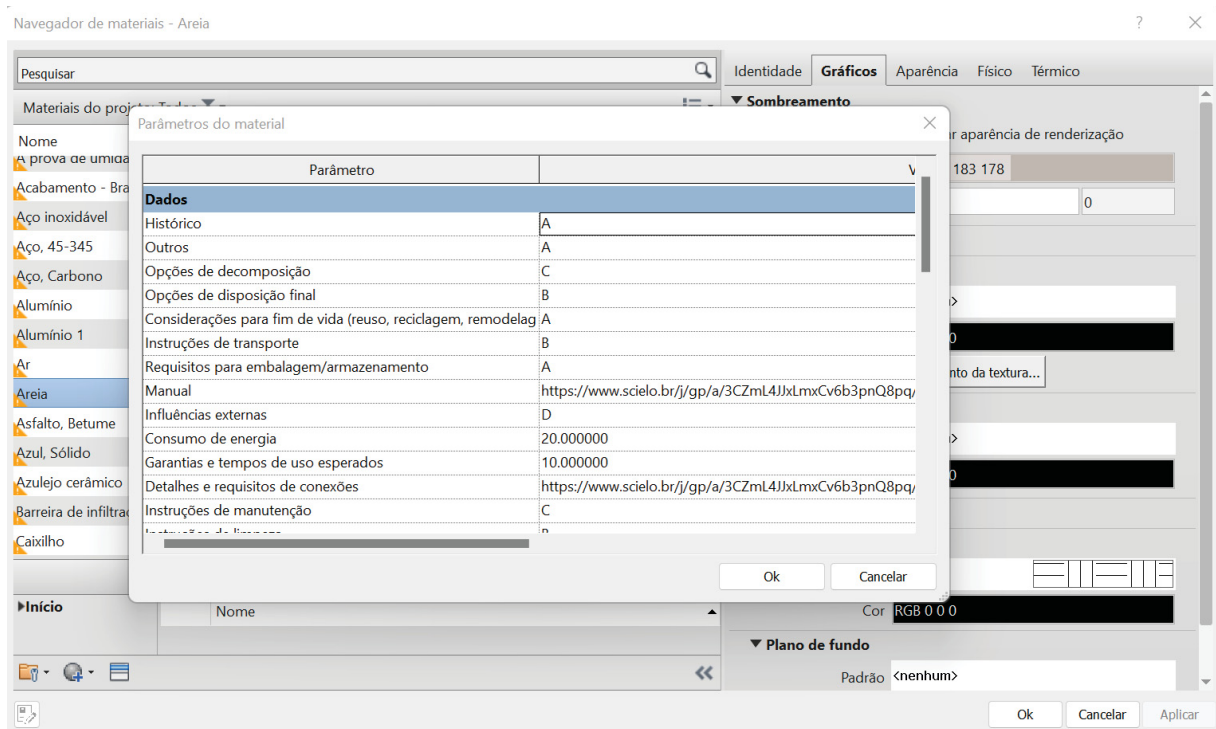


FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

A rotina completa com os nós para todos os parâmetros encontra-se no APÊNDICE C – ROTINA DE IMPORTAÇÃO DE DADOS DOS MATERIAIS PARA O MODELO REVIT.

Após a execução desta rotina, os parâmetros são preenchidos dentro do modelo Revit. A Figura 24 mostra os parâmetros da areia preenchidos após a execução da rotina.

Figura 24 - PARÂMETROS DE MATERIAIS IMPORTADOS



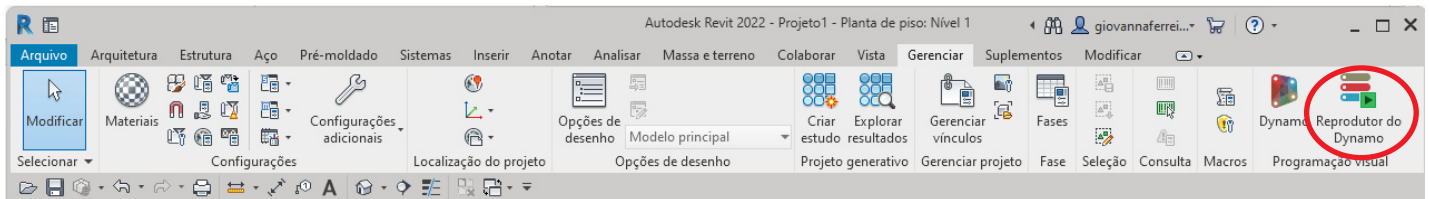
FONTE: A autora, via Revit (2022).

4.6 EXECUÇÃO DE ROTINAS DO DYNAMO

As subseções 4.3, 4.4 e 4.5 deste estudo explicam o desenvolvimento das rotinas de programação visual que permitem a modelagem do PM dentro de um modelo de projeto utilizando o *software* Revit. Uma vez que as rotinas são criadas, é possível replicá-las a qualquer modelo de projeto inicializando o Reprodutor do Dynamo.

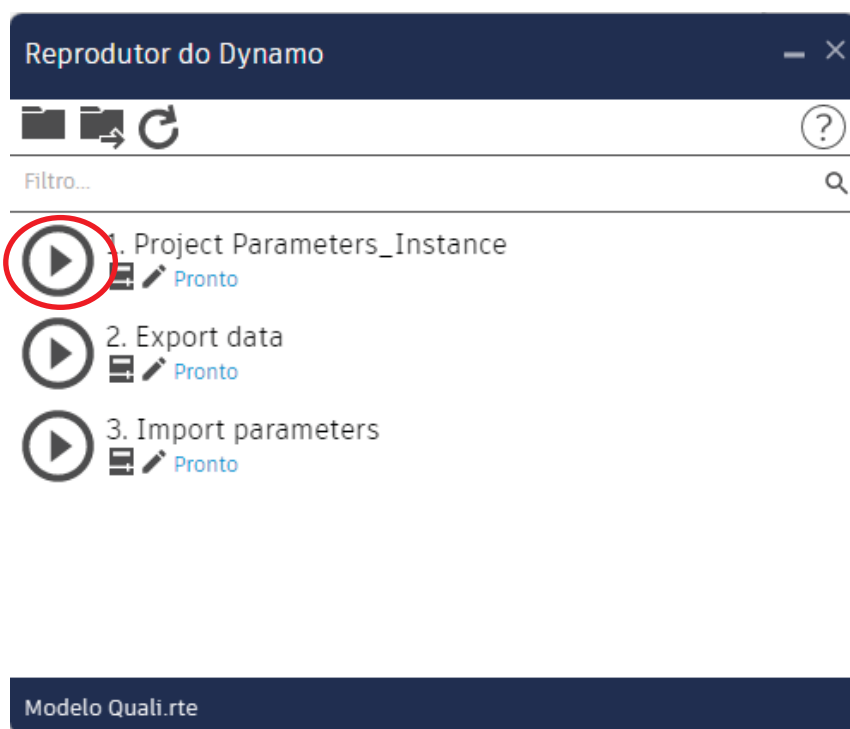
A versão 2021 do Revit conta com a ferramenta Dynamo e o Reprodutor do Dynamo inseridos no *software*. A Figura 25 e a Figura 26 apresentam a localização do Reprodutor do Dynamo no Revit e o próprio reprodutor.

Figura 25 - LOCALIZAÇÃO DO REPRODUTOR DO DYNAMIO NO REVIT 2021



FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

Figura 26 - REPRODUTOR DO DYNAMO



FONTE: A autora, via Dynamo (2022).

Para execução das rotinas, aperta-se o botão *play* indicado na Figura 26 para cada rotina criada. O reprodutor avisa quando a execução for concluída e se ela foi concluída com sucesso ou com falhas. Caso haja falhas, o projetista pode identificar o erro da rotina dentro do Dynamo e corrigi-las.

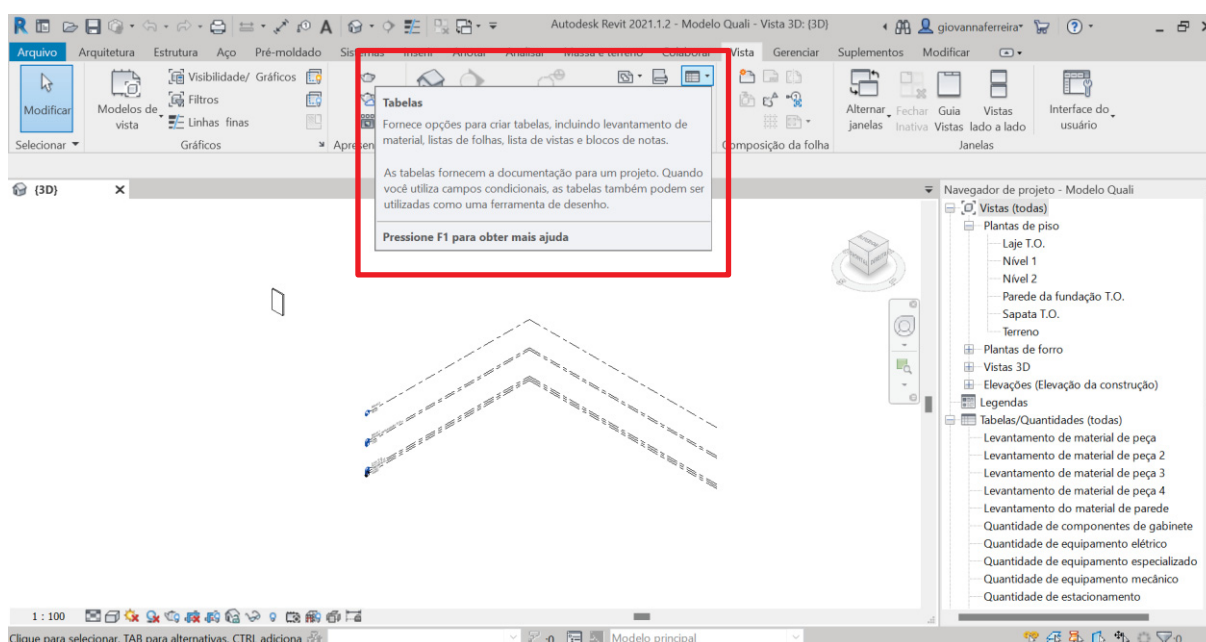
4.7 TABELAS DE PARÂMETROS DO PASSAPORTE DE MATERIAIS

Até o presente momento, a apresentação do artefato descreve as etapas de criação e tratamento dos parâmetros do PM. Esta subseção apresenta o formato que

os parâmetros são apresentados dentro do *software* Revit e, conseqüentemente, define uma proposta de apresentação do PM.

Este estudo tem como objetivo trabalhar com o recurso tecnológico através de ferramentas BIM. Por esse motivo, a manipulação dos parâmetros será feita com os recursos disponíveis no *software* Revit. A ferramenta possui recursos de geração de tabelas a partir dos parâmetros existentes no modelo, ilustrada na Figura 27. Recursos estes que serão usados para manipular os parâmetros e apresentá-los.

Figura 27 - RECURSO DE TABELAS DO REVIT



FONTE: A autora, via Revit (2022).

O *software* Revit permite a geração de tabelas de quantidades. Para isso, define-se um elemento de categoria que deseja extrair as informações e colocar na tabela. Para apresentação do recurso, o elemento utilizado será “Paredes” conforme Figura 28. A Autora modelou uma parede básica com três camadas utilizando os materiais existentes no Revit e que já tiveram os parâmetros do PM criados e preenchidos (apresentados nas seções anteriores).

As tabelas apresentadas neste capítulo serão da categoria Sustentabilidade o PM. As outras categorias são apresentadas no APÊNDICE D – TABELAS DO PM GERADAS A PARTIR DO SOFTWARE REVIT.

Figura 28 – ELEMENTO “PAREDES”

Editar montagem

Família: Parede básica

Tipo: Genérico - 200 mm

Espessura total: 220.0

Resistência (R): 0.3704 (m²·K)/W

Massa térmica: 24.19 kJ/K

Altura da amostra: 6000.0

Camadas

LADO EXTERNO

	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural
1	Limite do núcleo	Camadas acima da virada d	0.0		
2	Acabamento 1 [4]	Acabamento - Branco	10.0	☐	☐
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comum	200.0	☐	☐
4	Acabamento 2 [5]	Acabamento - Branco	10.0	☐	☐
5	Limite do núcleo	Camadas abaixo da virada d	0.0		

LADO INTERNO

Inserir

Excluir

Acima

Abaixo

Virada do revestimento-padrão

Nas inserções: Não virar

Nas extremidades: Nenhum

Modificar estrutura vertical (somente na visualização do corte)

Modificar

Mesclar regiões

Extrusão por percurso

Atribuir camadas

Dividir região

Frisos

<< Visualizar

OK

Cancelar

Ajuda

FONTE: A autora, via Revit (2023).

A tabela gerada do elemento de categoria Paredes não extrai os dados dos materiais que compõem a parede. Os dados extraídos são do elemento composto parede e, por tanto, não existem no modelo conforme mostra a Figura 29. A Figura 29 exemplifica a situação com os parâmetros da categoria Sustentabilidade.

Figura 29 - TABELA DE QUANTIDADES DO ELEMENTO TIPO PAREDE

<Tabela de parede 4>													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
ADP-elements	ADP-fossil fuels	AE (Água Embutida)	AP	Documento DAP	EE (Energia Embuti	EE no transporte	EP	ODP	POCP	URL	Volume	Área	GWP
											16.64 m³	104 m²	

FONTE: A autora, via Revit (2022).

Outra forma de tabela existente no Revit é o levantamento de material. Este recurso cria uma lista de materiais para uma família do Revit. A Autora optou por utilizar esse formato de tabela para poder manipular os dados dos parâmetros dos materiais. A Figura 30 mostra a tabela gerada a partir deste recurso.

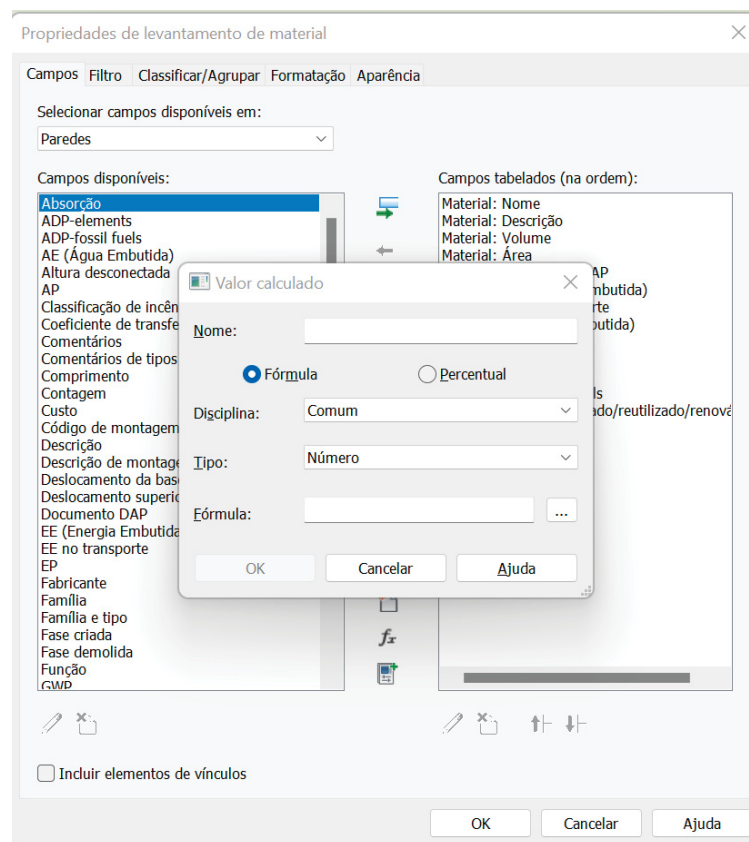
Figura 30 - TABELA DE QUANTIDADES DOS MATERIAIS DO ELEMENTO TIPO PAREDE

<CATEGORIA SUSTENTABILIDADE>													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Material: Nome comercial	Material: Document	Material: EE (Energia Embutida)	Material: EE no transporte	Material: AE (Água Embutida)	Material: GWP	Material: ODP	Material: AP	Material: EP	Material: POCP	Material: ADP-elements	Material: ADP-fossil fuels	Material: Índice de circularidade	Material: Material re
A	https://www.auto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim
A	https://www.auto	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	sim

FONTE: A autora, via Revit (2022).

Especificamente para a categoria Sustentabilidade, a tabela gerada possui os valores unitários (VU) para os nove primeiros parâmetros numéricos. O único parâmetro numérico que não apresenta VU é o “Índice de circularidade”, por isso não está correto dizer que o elemento composto “parede” do modelo gera os impactos descritos na Figura 30. O próximo passo é manipular os parâmetros a partir dos dados de geometria e de densidade de cada material. A manipulação é possível através do recurso de criação campos tabelados com fórmulas conforme ilustrado na Figura 31. As fórmulas de cada parâmetro são apresentadas na Tabela 6.

Figura 31 - RECURSO DE CRIAÇÃO DE CAMPOS TABELADOS COM FÓRMULAS



FONTE: A autora, via Revit (2022).

Tabela 6 - FÓRMULAS UTILIZADAS PARA CADA PARÂMETRO

Nome do Grupo	Parâmetro	Unidade de medida	Fórmula
Sustentabilidade	DAP (Declaração Ambiental de Produto)	Sem unidade de medida	Sem fórmula
	Energia Embutida (EE)	MJ/kg	VU * densidade * volume
	EE no Transporte	MJ/kg	VU * densidade * volume
	AE (Água Embutida)	kL/kg	VU * densidade * volume
	GWP (Emissão de CO ₂ eq)	kg CO ₂ .eq/kg	VU * densidade * volume
	ODP (Depleção da Camada de Ozônio)	kg CFC 11.eq/kg	VU * densidade * volume
	AP (Acidificação)	kg SO ₂ .eq/kg	VU * densidade * volume
	EP (Eutrofização ou Nutrição)	kg PO ₄ ⁻³ .eq/kg	VU * densidade * volume
	POCP	kg C ₂ H ₄ .eq/kg	VU * densidade * volume
	ADP-elements	kg Sb.eq/kg	VU * densidade * volume
	ADP-fossil fuels	MJ/kg	VU * densidade * volume
	Índice de circularidade	%	Sem fórmula
	Material reciclado/reutilizado/renovável?	Sem unidade de medida	Sem fórmula

FONTE: A autora (2022).

A Figura 32 mostra a tabela ajustada com os campos formulados. Utilizou-se o valor de densidade 10kg/m³ para todos os materiais para poder exemplificar a tabela final pois os materiais padrão do Revit utilizados não apresentam valores de densidade. Outros materiais podem apresentar e o cálculo deve ser feito a partir do parâmetro incorporado ao material. Os valores de densidade de cada material serão incluídos futuramente no grupo de Dados Gerais do PM.

Figura 32 - TABELA DE QUANTIDADES DOS MATERIAIS DO ELEMENTO DE CONSTRUÇÃO

<CATEGORIA SUSTENTABILIDADE>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Material: Nome comercial	Volume	Material: Document	Material: EE (Energia Embutida)	Material: EE no transporte	Material: AE (Água Embutida)	Material: GWP	Material: ODP
A	95.04 m³	https://www.auto	9504	19008	28512	38016	47520
A	95.04 m³	https://www.auto	9504	19008	28512	38016	47520

>DENSIDADE<						
I	J	K	L	M	N	O
Material: AP	Material: EP	Material: POCP	Material: ADP-elements	Material: ADP-fossil fuels	Material: Índice de circularidade	Material: Material re
57024	66528	76032	85536	95040	10	sim
57024	66528	76032	85536	95040	10	sim

FONTE: A autora, via Revit (2022).

4.8 ETAPAS DE APLICAÇÃO DO ARTEFATO

O artefato apresentado foi idealizado para utilização durante as etapas de projeto, construção, manutenção e demolição de uma edificação. No entanto, as informações dos materiais não estão classificadas entre estas etapas como aponta as limitações da pesquisa na seção 6.1.

A etapa de projeto é a etapa em que o profissional da construção pode analisar os materiais com maior eficiência e com mais tempo e, se necessário, fazer alterações a fim de obter melhores resultados a partir das informações do PM. A escolha dos materiais adequados é essencial para melhores resultados no âmbito da sustentabilidade.

Durante a etapa de construção, o PM proposto contém informações de construção, manipulação, transporte, segurança dos materiais, entre outros. Nesta etapa, o profissional da construção deveria ter acesso às informações do PM através do BIM para ser capaz de atender as exigências de cada material. Além disso, caso haja alguma alteração de projeto durante a fase de construção, o PM está aberto para que novas informações sejam inseridas e/ou atualizadas.

A fase de manutenção é importante principalmente nas informações de uso e manutenção do PM. O PM é responsável por disponibilizar as informações de uso e manutenção dos materiais, bem como deve armazenar as manutenções a serem realizadas na edificação.

Por fim, a fase de demolição está diretamente associada às informações de fim de vida e potencial de reuso e reciclabilidade dos materiais, além das informações de montagem e desmontagem. O PM nesta etapa funciona como um banco de materiais da edificação, o qual será consultado para entender a melhor forma de desconstrução.

Apesar de a ferramenta estar diretamente associada ao projeto arquitetônico da edificação, onde há a maior variedade de materiais a serem utilizados, o estudo dos materiais a partir do PM não está restrito apenas aos arquitetos. Para a Autora, a análise dos materiais e de seus PMs é de responsabilidade dos profissionais da indústria da AEC com foco na sustentabilidade o ambiente construído.

5 VALIDAÇÃO DO ARTEFATO

Este capítulo irá descrever as validações do artefato. Conforme apresentado na seção 3.1, a validação foi feita em duas etapas. A primeira etapa constitui um roteiro de entrevistas e a segunda etapa constitui em uma análise dinâmica de desempenho do artefato.

5.1 TESTE FUNCIONAL

A primeira validação foi feita através do teste funcional utilizando um roteiro de entrevistas. Os profissionais entrevistados foram definidos a partir da qualificação profissional de cada um de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - PERFIL PROFISSIONAL DOS ENTREVISTADOS

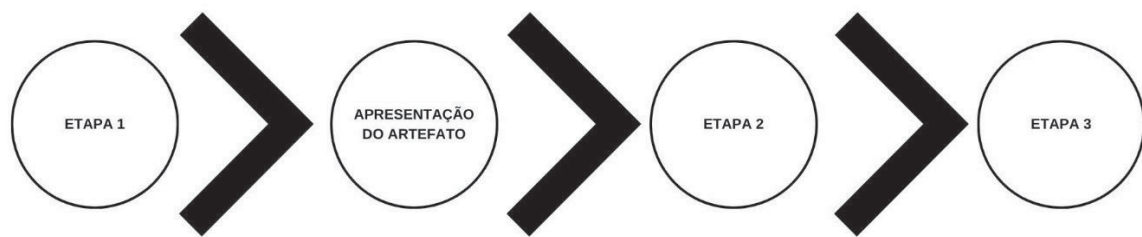
Entrevistados	Qualificação profissional
Entrevistado I	Engenheira civil Profissional autônoma Atua como projetista utilizando <i>software</i> Revit Não tem envolvimento com temas de sustentabilidade na prática profissional
Entrevistado II	Engenheira ambiental, especialista em Construções Sustentáveis e mestre em Engenharia Civil Sócia-proprietária de escritório de arquitetura sustentável Atua como projetista utilizando <i>software</i> ArchiCAD e tem conhecimento no <i>software</i> Revit e <i>softwares</i> de simulação energética Atua com sustentabilidade na prática profissional
Entrevistado III	Engenheiro civil, doutor em Engenharia civil Professor universitário convidado em diversas instituições Sócio proprietário de construtora tradicional Sócio proprietário de construtora modular Atua com sustentabilidade na prática profissional
Entrevistado IV	Engenheiro civil, especialista em Gestão de Projetos de Engenharia e mestre em Engenharia civil Professor universitário Atua como projetista autônomo utilizando BIM e <i>software</i> Revit Atua com sustentabilidade na prática profissional

FONTE: A autora (2023).

O roteiro foi dividido em três etapas. A primeira etapa contém quatro perguntas que foram respondidas antes da apresentação do artefato. A segunda e terceira etapas possuem 12 e três perguntas, respectivamente, as quais foram respondidas após a apresentação do artefato.

A Figura 33 apresenta as etapas do protocolo de entrevistas.

Figura 33 - ETAPAS DO PROTOCOLO DE ENTREVISTAS



FONTE: A autora (2023).

As perguntas foram desenvolvidas considerando: (1) se os entrevistados teriam ou não conhecimento prévio sobre o assunto abordado; (2) se após a apresentação do artefato, esses assuntos ficariam mais claros; (3) se o artefato apresentado é de fácil usabilidade, eficiência e operabilidade no mercado da construção civil.

Assim, seguiu-se o roteiro de perguntas:

ETAPA 1

1. O que você entende por Economia Circular na construção civil?
2. O que você entende por Passaporte de Materiais como ferramenta tecnológica para inserção da EC na indústria da construção?
3. O que você entende por uso de tecnologia e ferramentas tecnológicas a fim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
4. O que você entende por uso de tecnologia BIM a fim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?

ETAPA 2

1. O que você entende por Economia Circular na construção civil?
2. O que você entende por Passaporte de Materiais como ferramenta tecnológica para inserção da EC na indústria da construção?
3. O que você entende por uso de tecnologia e ferramentas tecnológicas a fim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
4. O que você entende por uso de tecnologia BIM a fim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
5. O que você entende por uso de tecnologia e ferramentas tecnológicas a fim de incorporar conceitos circulares na indústria da construção civil?
6. O que você entende por uso da tecnologia BIM a fim de incorporar conceitos circulares na indústria da construção civil?
7. É possível identificar, a partir da sua prática profissional, como a abordagem apresentada pode melhorar a sustentabilidade dos projetos e construções?
8. É possível identificar, a partir da sua prática profissional, como a abordagem apresentada pode melhorar a circularidade dos projetos e construções?
9. É possível identificar falhas e/ou defeitos no recurso?
10. É possível inserir o artefato apresentado na prática projetual de edificações com o objetivo de torná-las mais sustentáveis?
11. É possível inserir o artefato apresentado na prática projetual de edificações com o objetivo de se obter uma base de dados de materiais?
12. Como este método pode melhorar a prática projetual de edificações?

ETAPA 3

1. Sugestões de melhoria para o sistema.
2. Consegue identificar, a partir do recurso apresentado, práticas profissionais que possam ser inseridas na sua rotina para promover construções mais sustentáveis e/ou circulares?
3. Outros comentários.

A partir das respostas dos profissionais entrevistados, foi possível medir o conhecimento acerca dos temas abordados. Na Etapa 1, onde nenhum candidato teve contato com o artefato ou com conceitos teóricos apresentados pela Autora, observou-se que os conceitos de EC e PM não são claros. Em todas as respostas, EC está restrita a não geração de resíduos, como mostra resposta do Entrevistado I que diz: “A questão de reutilização e todas as formas de reduzir impacto ambiental vinculados aos materiais que englobam todas as etapas da construção”.

Em relação ao PM, todos os candidatos conseguem expressar o conceito de PM, mas não totalmente, como o exemplo do Entrevistado II que diz: “Um dos principais objetivos do passaporte de materiais na construção seria a conscientização, informação e, principalmente, a validação de parâmetros de sustentabilidade e circularidade de determinado material”. Além disso, não há segurança nas respostas, como mostra a resposta do Entrevistado IV: “Sinceramente eu vou dizer que eu sei muito pouco sobre esse assunto. O pouco que eu que eu ouvi foi de uma de uma palestra uma vez de uma mestrandia do mesmo programa de mestrado que a gente fez. Não vou dizer que é o que eu que entendo porque talvez esteja assumindo algumas premissas que não necessariamente são verdadeiras”.

No entanto, quando se trata de tecnologia e BIM, todos os candidatos mostram maior segurança em suas respostas e compreendem melhor sobre o assunto, como mostra a resposta do Entrevistado III: “O desenvolvimento de uma nova ferramenta, como o BIM, não foi feito para aspecto de sustentabilidade. No entanto, com essa nova ferramenta, é possível imputar aspectos de sustentabilidade fazendo uso na ferramenta”. A resposta do Entrevistado IV também apresenta segurança e conhecimento sobre os conceitos quando ele diz: “Toda a base do BIM falando de informação, coordenação, compatibilização, troca e gestão integrada, está totalmente aliado a essa possibilidade de pensar numa indústria da construção civil mais sustentável, com menos impacto, com mais eficiência.”

A Tabela 8 apresenta o nível de compreensão dos entrevistados em relação aos temas abordados em cada pergunta da Etapa 1.

Tabela 8 – ANÁLISE DA ETAPA 1 (PERGUNTAS 1 A 4)

	Entrevistado I	Entrevistado II	Entrevistado III	Entrevistado IV
Compreensão sobre o conceito de EC	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL
Compreensão sobre o conceito de PM	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	BOM CONHECIMENTO
Compreensão sobre tecnologia para construções sustentáveis	CONHECIMENTO PARCIAL	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO
Compreensão sobre tecnologia BIM para construções sustentáveis	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO

FONTE: A autora (2023).

Analisando a matriz da Tabela 8 através das cores, o nível de conhecimento da Etapa 1 pode ser dividido em duas partes: 50% das respostas possuem conhecimento parcial e 50% possuem bom conhecimento.

Na Etapa 2, a Autora optou por repetir as quatro perguntas da Etapa 1 com o objetivo de perceber se haveria ou não evolução no conceito dos temas abordados. Apenas o Entrevistado I assumiu não ter conhecimento suficiente ao responder as perguntas da Etapa 1 e respondeu novamente as perguntas na Etapa 2. Ao analisar a evolução deste entrevistado, foi possível perceber que o conceito de PM foi absorvido totalmente. No entanto, o conceito de EC ainda ficou restrito a não geração de resíduos. A nova matriz de cores apresentada na Tabela 9 está dividida em 56,25% das respostas com bom conhecimento e 43,75% com conhecimento parcial.

Tabela 9 - ANÁLISE DA ETAPA 2 (PERGUNTAS 1 A 4)

	Entrevistado I	Entrevistado II	Entrevistado III	Entrevistado IV
Compreensão sobre o conceito de EC	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL
Compreensão sobre o conceito de PM	BOM CONHECIMENTO	CONHECIMENTO PARCIAL	CONHECIMENTO PARCIAL	BOM CONHECIMENTO
Compreensão sobre tecnologia para construções sustentáveis	CONHECIMENTO PARCIAL	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO
Compreensão sobre tecnologia BIM para construções sustentáveis	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO

FONTE: A autora (2023).

As perguntas 5 e 6 da Etapa 2 relacionam tecnologia e BIM com construções circulares. Ao analisar essas perguntas, foi possível perceber que os Entrevistados II, III e IV têm respostas mais seguras e assertivas do que o Entrevistado I. A Tabela 10 apresenta a matriz de cores, com 75% das respostas com bom conhecimento e 25% das respostas com conhecimento parcial.

Tabela 10 - ANÁLISE DA ETAPA 2 (PERGUNTAS 5 E 6)

	Entrevistado I	Entrevistado II	Entrevistado III	Entrevistado IV
Compreensão sobre tecnologia para construções circulares	CONHECIMENTO PARCIAL	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO
Compreensão sobre tecnologia BIM para construções circulares	CONHECIMENTO PARCIAL	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO	BOM CONHECIMENTO

FONTE: A autora (2023).

A análise das perguntas 7 a 12 da Etapa 2 estão representadas na Tabela 11 e foi feita a partir da percepção do uso do artefato em si. As respostas mostram a percepção dos entrevistados em relação a aplicabilidade do artefato na prática profissional de cada um deles, bem como a aplicabilidade na prática projetual da indústria da AEC. A análise da matriz através das cores mostra que a percepção parcialmente positiva representa 75% das respostas e 25% representam uma percepção negativa.

Tabela 11 - ANÁLISE DA ETAPA 2 (PERGUNTAS 7 A 12)

	Entrevistado I	Entrevistado II	Entrevistado III	Entrevistado IV
Aplicabilidade do artefato da prática profissional	PERCEPÇÃO PARCIALMENTE POSITIVA	PERCEPÇÃO PARCIALMENTE POSITIVA	PERCEPÇÃO NEGATIVA	PERCEPÇÃO PARCIALMENTE POSITIVA
Aplicabilidade do artefato na prática projetual da indústria de AEC	PERCEPÇÃO PARCIALMENTE POSITIVA	PERCEPÇÃO PARCIALMENTE POSITIVA	PERCEPÇÃO NEGATIVA	PERCEPÇÃO PARCIALMENTE POSITIVA

FONTE: A autora (2023).

Os Entrevistados I, II e IV mostraram percepções parcialmente positivas em relação ao artefato. Respostas como “Com certeza o artefato traz grande benefício e facilidade em avaliar a sustentabilidade de materiais a serem utilizados. Porém a sustentabilidade em projetos e construções não envolve apenas os materiais, mas também condições de conforto e eficiência energética, desempenho de sistemas, impacto urbanístico e social no local em que será construído, otimização de recursos e mão-obra, viabilidade econômica, entre outros.” mostram que apesar da abertura para aplicabilidade do artefato, existem outras barreiras a serem superadas para que haja aplicabilidade total.

O Entrevistado III não identifica maneiras de o artefato, e/ou o conceito de PM, ser inserido na indústria da AEC quando diz que “Não vou falar que é uma falha porque é uma característica, mas o PM é complexo e exige muito tempo para que você possa fazer uso disso/dessas informações e compilar todos os dados. E essa característica, pelo perfil dos usuários e do mercado, não encaixa no dia a dia da construção civil.

Não existe recurso sobrando para dedicar tempo a informações como energia embutida via PM dentro de um leque de três mil tipos diferentes de materiais. Quem vai controlar tudo isso? Uma obra tem o engenheiro, o mestre de obras, almoxarife e o recurso dentro da obra já esgotou”.

Apesar se alguns entrevistados mostrarem abertura ao artefato e ao conceito de PM na prática profissional, todos eles apresentam etapas a serem superadas antes da aplicação direta. Como exemplo de barreiras, podemos citar a dificuldade com dados, seja na coleta, na disponibilidade, na estruturação e/ou na organização deles. Recursos de tempo e financeiros também foram levantados nas respostas, uma vez que o mercado não remunera o tempo gasto nesse tipo de trabalho.

Os profissionais entrevistados possuem perfis diferentes e atuam de forma diferente no mercado da construção civil. Com isso, foi possível obter diferentes percepções do mercado para o artefato proposto, bem como medir o conhecimento do assunto fora da academia. Os resultados da análise das entrevistas estão descritos no Capítulo 6 e as respostas das perguntas estão estruturadas nas tabelas do APÊNDICE E – RESPOSTAS DO PROTOCOLO DE ENTREVISTAS.

5.2 ANÁLISE DINÂMICA

A validação através da análise dinâmica foi feita duas vezes nesta pesquisa. A primeira diz respeito a funcionalidade do artefato apresentada no Capítulo 4. Este capítulo, ao apresentar o passo a passo do desenvolvimento da ferramenta proposta, apresenta o desempenho funcional da tecnologia. As imagens das rotinas bem como as figuras geradas no Revit comprovam o desempenho operacional do artefato.

No entanto, apesar de funcionar operacionalmente, os dados utilizados na demonstração não são de valores reais. A Autora escolheu caracteres, *links* e números aleatórios para operação. Nesta seção, a análise dinâmica foi feita com os materiais utilizados na fabricação de *woodframe* de uma empresa em Curitiba.

Como apresentado na seção anterior, as respostas dos profissionais mostram que uma das maiores dificuldades do PM seria obter os dados dos parâmetros dos materiais utilizados nas edificações. Assim, a empresa forneceu informações sobre os sete principais materiais utilizados na produção dos painéis. São eles: compensado tratado, chapa cimentícia ou de EPS, estrutura em madeira, gesso, pregos e parafusos, isolante térmico (lã de rocha) e a membrana. A empresa forneceu quais

parâmetros do PM existem para cada material, bem como quais não existem e quais não existem, mas seria possível obter. Os materiais são fornecidos por empresas terceiras e somente os painéis de *woodframe* são montados na planta industrial da empresa analisada.

A obtenção das informações sobre os materiais que compõem o *woodframe* foi feita através de conversas entre a Autora e o dono da empresa. Grande parte dos parâmetros foram explicados ao dono da empresa para que este pudesse identificar a existência ou não do parâmetro. Durante a conversa, foi possível perceber que a maior parte das informações coletadas não estão estruturadas e/ou organizadas para uso direto. As únicas informações que possuem algum tipo de estruturação são as informações de segurança dos materiais. A tabela completa com as informações para cada parâmetro pode ser lida na Figura 35.

Figura 34 – TABELA COM DADOS SOBRE WOODFRAME

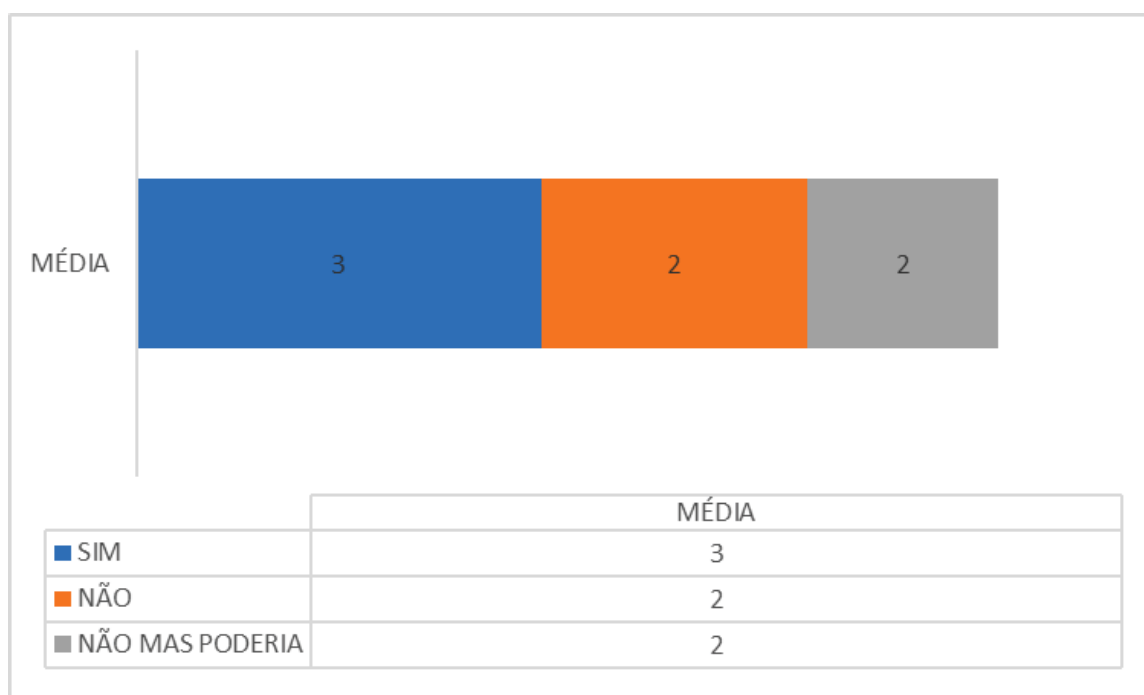
TIPO	NOME	Compensado tratado	Chapa cimentícia/EPS	Estrutura em madeira	Gesso	Pregos/parafusos	Isolamento térmico	Membrana
Dados Gerais	Nome comercial	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Nome do fabricante	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Composição do material	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Propriedades físicas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Propriedades químicas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Propriedades biológicas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Imagem do produto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Dados Gerais	Principal função	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Segurança e saúde do material	Avisos (informações de segurança)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Segurança e saúde do material	Recomendações (informações de segurança)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Segurança e saúde do material	Toxicidade (composição do material)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Segurança e saúde do material	Grau de risco de incêndio	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Segurança e saúde do material	Grau de risco (outros)	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Sustentabilidade	DAP	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	EE (energia embutida)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	EE no transporte	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Sustentabilidade	AE (água embutida)	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	GWP	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	ODP	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	AP	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	EP	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	POCP	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	Sustentabilidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	ADP-elementos	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	ADP-fossil fuels	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Sustentabilidade	Índice de circularidade	Não	Não	Não	Não	Não mas poderia	Não	Não
Sustentabilidade	Material reciclado/reutilizado/renovável ?	Não mas poderia	Não	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não	Não
Projeto e produção	Técnicas e processos de manufatura	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Projeto e produção	Instruções de instalação e tratamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Projeto e produção	Certificações	Não mas poderia	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Projeto e produção	Dados de rastreabilidade (RFID tags)	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Projeto e produção	Requisitos para transporte	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Projeto e produção	Características de embalagem	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Projeto e produção	Informações da cadeia de suprimentos	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Fase de Uso e Operação	Posicionamento e localização do edifício	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fase de Uso e Operação	Instruções de limpeza	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fase de Uso e Operação	Instruções de manutenção	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fase de Uso e Operação	Detalhes e requisitos de conexões	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fase de Uso e Operação	Garantias e tempos de uso esperados	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Fase de Uso e Operação	Consumo de energia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Fase de Uso e Operação	Consumo de água	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Fase de Uso e Operação	Influências externas	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Guia de desmontagem	Manual de instalação	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Guia de desmontagem	Requisitos para embalagem/armazenamento	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Guia de desmontagem	Instruções de transporte	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Potencial de reuso e reciclabilidade	Considerações para fim de vida (reuso, reciclagem, remodelagem)	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Potencial de reuso e reciclabilidade	Opções de disposição final	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Potencial de reuso e reciclabilidade	Opções de de-composição	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia	Não mas poderia
Histórico	Histórico	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
Outros	Outros	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

FONTE: A autora (2023).

Para compor a tabela, foram listados os 49 parâmetros do PM e feita a correlação com a existência (“Sim”), não existência (“Não”) e possibilidade de existência (“Não mas poderia”) de cada um. A partir desta correlação, foi possível identificar que cerca de 47% dos parâmetros existem, 29% não existem e 24% não existem, mas seria possível obtê-los, ou seja, mais de 70% dos parâmetros podem ser existentes.

Em média, para cada parâmetro do PM, três materiais possuem informação, dois materiais não possuem e dois não possuem, mas seria possível obter, conforme indicado o gráfico da Figura 35.

Figura 35 - MÉDIA DE MATERIAIS COM INFORMAÇÃO PARA CADA PARÂMETRO

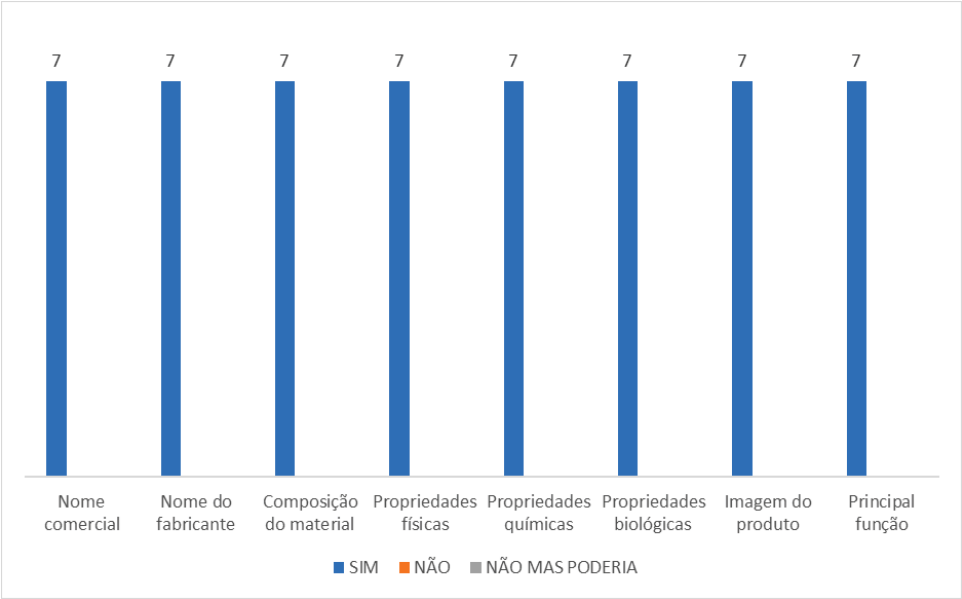


FONTE: A autora (2023).

As categorias Dados Gerais, Segurança e saúde do material, Projeto e produção, Fase de uso e operação e Guia de desmontagem são categorias que a maioria dos materiais possuem informações.

O gráfico da Figura 36 mostra que todos os parâmetros da categoria Dados gerais possuem informação.

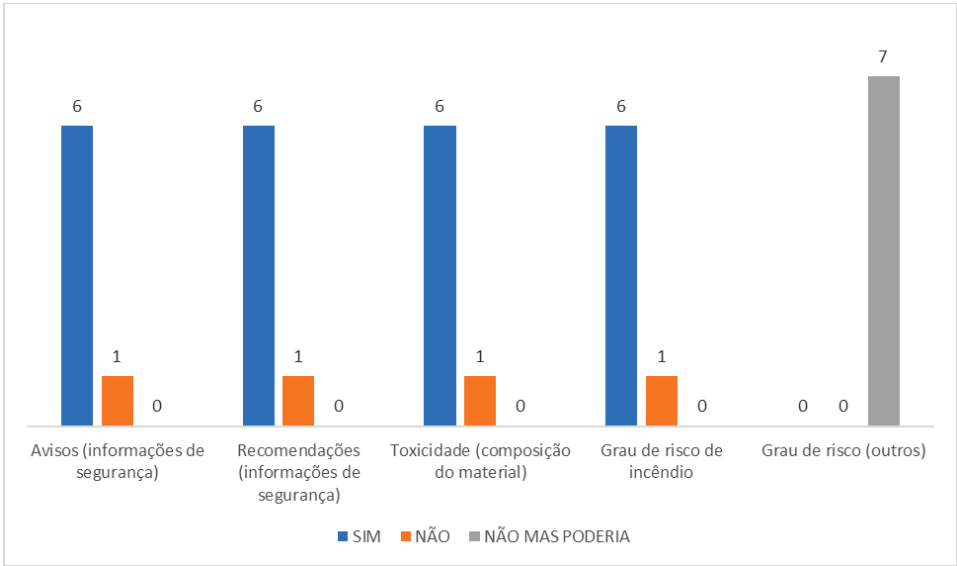
Figura 36 – CATEGORIA DADOS GERAIS



FONTE: A autora (2023).

A categoria Segurança e saúde do material, apresentada na Figura 37, possui seis materiais com a informação dos primeiros quatro parâmetros e um material sem essa informação. Quanto ao último parâmetro, nenhum material possui essa informação, mas seria possível obter. De acordo com a empresa, seria possível fazer um levantamento de riscos e acidentes que já ocorreram na indústria e classificá-los como outros riscos.

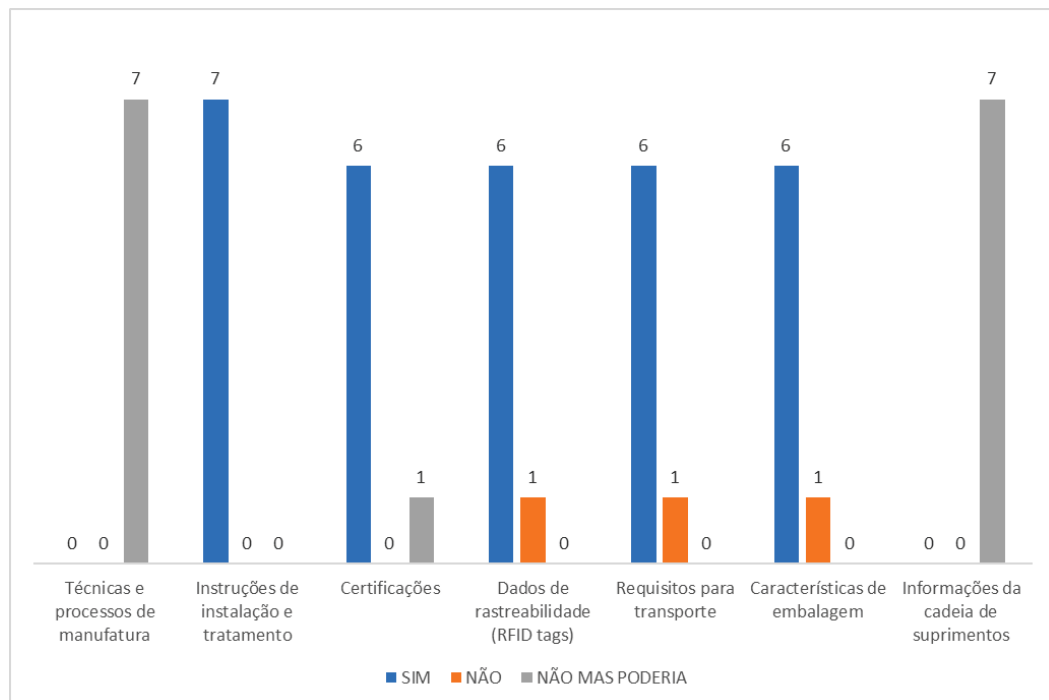
Figura 37 - CATEGORIA SEGURANÇA E SAÚDE DO MATERIAL



FONTE: A autora (2023).

Na categoria Projeto e produção da Figura 38 os parâmetros “Técnicas e processos de manufatura” e “Informações da cadeia de suprimentos” são os que não possuem dados, mas seria possível obtê-los. Em ambos os parâmetros, a empresa curitibana entende que essas informações são consideradas dados sensíveis das empresas fornecedoras dos materiais e por isso não possuem este tipo de informação. No entanto, caso fosse obrigatório, seria possível obtê-las.

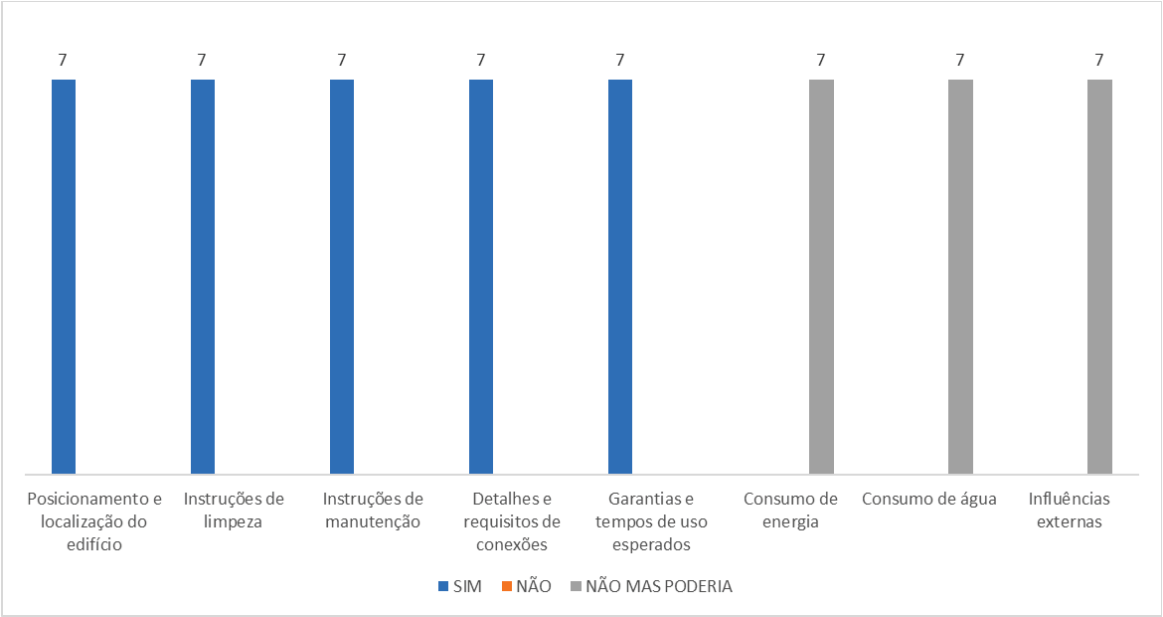
Figura 38 - CATEGORIA PROJETO E PRODUÇÃO



FONTE: A autora (2023).

A categoria de Fases de uso e operação da Figura 39 possui três parâmetros que não possuem dados, mas poderiam. Estes parâmetros não existem porque não são medidos (“Consumo de energia” e “Consumo de água”) ou não são mapeados (“Influências externas”).

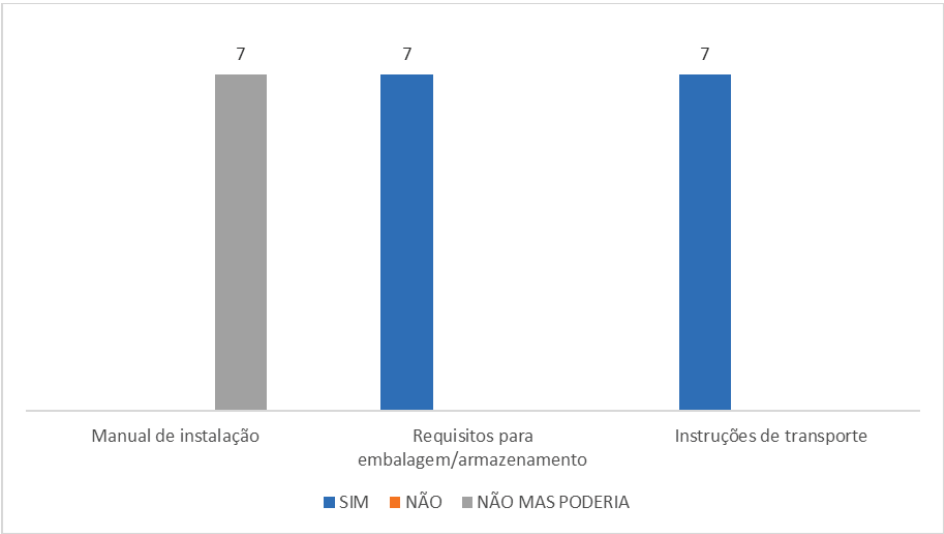
Figura 39 - CATEGORIA FASES DE USO E OPERAÇÃO



FONTE: A autora (2023).

Por fim, na categoria Guia de desmontagem, apresentada na Figura 40, o parâmetro “Manual de instalação” não existe, mas poderia. De acordo com a empresa curitibana, os projetos em *woodframe* podem ser considerados manuais de instalação. No entanto, servem apenas para construção da edificação. Não existiu, até o momento, projetos que fossem feitos para desconstrução e, por isso, não existe o manual para desconstrução.

Figura 40 - CATEGORIA GUIA DE DESMONTAGEM

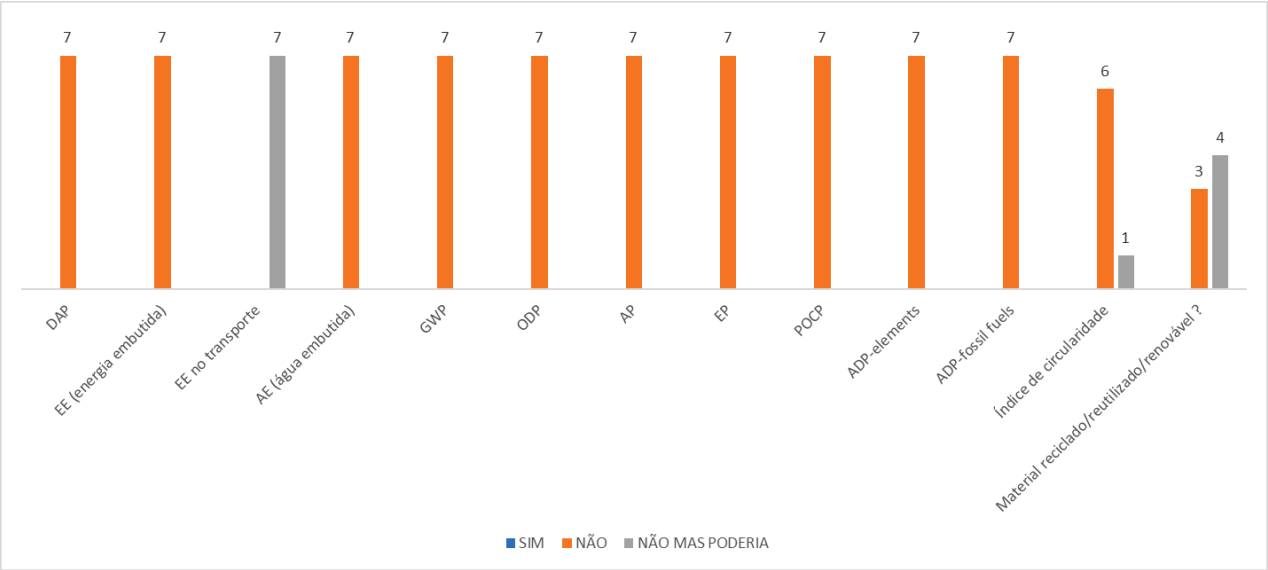


FONTE: A autora (2023).

A categoria Sustentabilidade Potencial de reuso e reciclabilidade não tiveram nenhum material com informação existente.

Conforme indica a Figura 41, nenhum material possui DAP e, consequentemente, não possuem as informações de impacto ambiental (*GWP*, *ODP*, *AP*, *EP*, *POCP*, *ADP-elements* e *ADP-fossil fuels*). No entanto, os parâmetros “EE no transporte” e “Material reciclado/reutilizado/renovável?” poderiam ser medidos e/ou levantados pela empresa. O compensado tratado e a estrutura em madeira seriam os materiais mais fáceis de se obter os dados pois já existe a possibilidade enviar os materiais para grandes fornos de indústrias cimenteiras. O parâmetro “EE (energia embutida)” seria possível calcular somente se o escopo da análise fosse da entrada do material a fábrica de *woodframe* até a chegada no canteiro de obras.

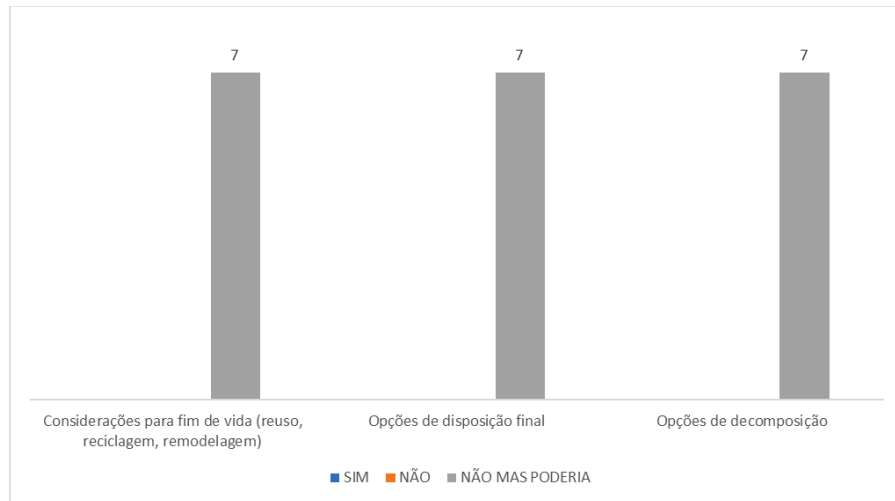
Figura 41 - CATEGORIA SUSTENTABILIDADE



FONTE: A autora (2023).

A Figura 42 apresenta a categoria Potencial de reuso e reciclabilidade. Todos os parâmetros poderiam ser obtidos. No entanto, de acordo com a empresa, não há nenhuma vantagem financeira no reuso e reciclabilidade dos materiais utilizados para produção dos painéis.

Figura 42 - CATEGORIA POTENCIAL DE REUSO E RECICLABILIDADE



FONTE: A autora (2023).

As categorias Histórico e Outros não possuem nenhuma informação sobre nenhum material. A empresa curitibana não identificou nenhum outro dado que existe e que não foi contemplado pelos 49 parâmetros do PM.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa propõe o desenvolvimento do PM de Munaro e Tavares (2021). Operacionalmente, o artefato se mostrou satisfatório pois os recursos tecnológicos (Revit e ferramenta Dynamo) atenderam as necessidades propostas. Com a ferramenta Dynamo, foi possível inserir todos os parâmetros do PM bem como utilizar estes parâmetros no modelo através das ferramentas de tabelas do Revit.

Por outro lado, a validação feita através das entrevistas com os profissionais da construção levantam discussões importantes para a aplicabilidade do recurso que não são contempladas pelo artefato. Primeiramente, a sequência de perguntas da Etapa 1 mostra que os entrevistados entendem superficialmente as definições de EC e PM e compreendem a importância da tecnologia e do BIM neste processo. Ao repetir as perguntas da Etapa 1 no início da Etapa 2, foi possível perceber que apenas o entrevistado que não atua com sustentabilidade pode evoluir nos conceitos apresentados. Assim, conclui-se que as ferramentas de aplicação da EC na construção (como é o caso do PM) devem ser acompanhadas da conscientização dos conceitos de EC, PM e sustentabilidade na construção.

As respostas das perguntas cinco e seis da Etapa 2 mostram que os entrevistados entendem que a tecnologia e o BIM são fundamentais para o PM e para a transição da EL para a EC. A tecnologia e o BIM se tornam uma ferramenta capaz de acelerar e facilitar o processo. No entanto, as respostas das perguntas sete e oito mostram que atualmente ainda é inviável inserir a ferramenta na prática profissional, principalmente em construções de larga escala. Os projetistas entrevistados compreendem a importância do PM, mas não identificam a aplicação completa da ferramenta e identificam etapas a serem superadas antes da sua aplicação direta. Enquanto o profissional que representa a construtora não vê de forma alguma a inserção da ferramenta, pois ela demanda recursos de tempo e financeiros que o mercado não tem.

As respostas das perguntas nove a 12 deixam claro que a dificuldade está na coleta dos dados. Primeiro porque o artefato apresentado sugere a coleta de dados manual, mas, mais do que isso, a disponibilidade destes dados no mercado não é uma realidade. Existem outras questões a serem atendidas antes do uso da ferramenta tecnológica em si. Questões como: em qual etapa do fluxo de projeto utiliza-se o PM?; como relacionar o PM e outras ferramentas de sustentabilidade

(eficiência energética, por exemplo)?; a tecnologia do PM vai facilitar ou vai inserir mais burocracias a prática profissional?. Estas perguntas, geradas a partir das respostas dos entrevistados, sugerem a continuação das pesquisas sobre EC e PM na indústria da construção, uma vez que esta pesquisa não teve como objetivo respondê-las. Os problemas levantados no uso do PM na prática profissional vão além do recurso proposto. Para os entrevistados, o problema está no conceito como um todo e no sistema que a construção civil está inserida. Por tanto, soluções pontuais podem melhorar parte do problema, mas dificilmente irão resolvê-los. Decisões governamentais, normativas e de mercado precisam andar juntas para que ferramentas como a apresentada possam provocar efeito prático no dia a dia.

Outro fator importante levantado na Etapa 2 foi o recurso financeiro. Um dos problemas para inserção do PM na prática projetual está em monetizar o processo. Por um lado, os recursos de tempo e de dinheiro são finitos e para isso o trabalho precisa ser produtivo, principalmente em construtoras. Por outro, os usuários das edificações precisam compreender a importância da sustentabilidade, da EC e do PM para pagar por estes conceitos e serviços. Novamente, não é uma realidade no mercado. No entanto, certificações ambientais como LEED, BREEAM e AQUA-HQE podem fomentar o uso dessas soluções pois tem o objetivo de comprovar parâmetros de sustentabilidade nos projetos.

Por fim, a Etapa 3 sugere que as práticas mais sustentáveis, inclusive as de circularidade, são pautas na prática profissional. Os desafios estão em conseguir aplicá-las de forma assertiva no cenário brasileiro atual. Os problemas a serem enfrentados são sistêmicos e envolvem diversos atores para que sejam solucionados.

A análise dinâmica feita com o *woodframe* apresenta um cenário positivo quanto aos dados dos materiais. Apesar de não poder representar todos os materiais de construção, os painéis de *woodframe* analisados possuem bons resultados quanto aos parâmetros. Em média, 47% dos parâmetros do PM são existentes, 29% são inexistentes e 24% não existem, mas seria possível obter. Este resultado mostra que seria possível trabalhar com mais de 70% dos parâmetros apresentados no PM. O resultado é negativo na categoria de Sustentabilidade, que não possui nenhum parâmetro existente. Nesta categoria, 11 parâmetros são inexistentes, representando 85%, enquanto 2 parâmetros não existem, mas poderiam ser medidos, representando 25%. A partir destes resultados, percebe-se que parte do problema de dados está na gestão deles e não na geração. Identifica-se aqui um problema de gestão da

informação e a importância de equipes multidisciplinares atuando no processo de inserção da EC na construção civil.

A análise da existência de parâmetros do *woodframe* vai contra a percepção dos profissionais entrevistados. Para os entrevistados, grande parte do problema do recurso está na coleta dos dados, seja porque esses dados não existem ou pela dificuldade da coleta com os fornecedores. No entanto, a maior parte dos parâmetros dos materiais que compõe o *woodframe* existem ou poderiam ser obtidos (cerca de 70%). Esta contradição reforça o problema de gestão da informação acerca do tema, bem como a oportunidade de futuras pesquisas multidisciplinares que possam solucionar as questões aqui apresentadas.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa apresentou quatro grandes limitações a serem consideradas. A primeira se refere a interoperabilidade, que como define Eastman *et al.* (2008), é a capacidade de identificar os dados necessários a serem passados de uma aplicação para outra. A importação dos dados dos materiais para o modelo Revit foi feita de forma manual em algumas etapas do desenvolvimento. Isso se deu pois os dados sobre os materiais não estão armazenados em um único lugar, bem como não apresentam os mesmos formatos entre eles e/ou entre eles e o *software* Revit. A automatização dos documentos DAP às rotinas do Dynamo é um exemplo das dificuldades de interoperabilidade. A DAP seria uma base de dados oficial dos materiais que está disponível em formato *.html*. No entanto, a programação da leitura dos arquivos *.html* e posterior alimentação dos parâmetros com estes dados tornou-se uma limitação. Além disso, a DAP atenderia apenas sete dos 49 parâmetros do PM.

A segunda limitação da pesquisa se refere à não classificação dos parâmetros em relação a etapas do ciclo de vida do elemento da construção. A Autora optou por desenvolver o artefato sem considerar qual etapa do ciclo de vida o dado do material se refere. O parâmetro “Garantias e tempos de uso esperados” informa o ciclo de vida do material. No entanto, uma análise deste parâmetro com ciclo de vida da edificação deixaria o recurso mais assertivo.

A terceira limitação da pesquisa diz respeito a ferramenta Dynamo, que apresentou dificuldades no decorrer do desenvolvimento do artefato. Apesar de ser

considerada uma ferramenta de programação intuitiva, o processo de aprendizagem dos nós e rotinas é moroso. Assim como relatado nas respostas das entrevistas e na pesquisa de Crippa (2019), a programação não é tão prática e requer tempo para que seja desenvolvida. Outro fator negativo do Dynamo é a apresentação visual. Como a ferramenta possui um alto volume de parâmetros, a rotina completa fica confusa e difícil de ler. Muitas vezes o *software* trava, não é possível finalizar a execução das rotinas e é necessário reiniciar todo o processo.

Por fim, a quarta limitação é atribuída ao número de entrevistados e a quantidade de materiais testados. As respostas obtidas no protocolo de entrevistas são qualitativas e não representam a indústria da construção civil no Brasil. A partir das entrevistas foi possível obter um direcionamento para futuras pesquisas que podem gerar resultados que representem o cenário da construção. Quanto aos materiais, a pesquisa analisa apenas uma empresa que propõe um método construtivo composto por 7 materiais. Da mesma forma, o exemplo proposto não tem capacidade de representar todos os materiais da construção, mas pode gerar direcionamento para futuras pesquisas que envolvam outros tipos de materiais.

7 CONCLUSÃO

Esta pesquisa propõe a modelagem do PM de mais de um material da construção civil utilizando tecnologia BIM. A criação do recurso tecnológico fomenta a discussão e estudos para a transição da EL para a EC no setor da construção civil. A escolha do *software* Revit e ferramenta Dynamo, bem como o auxílio do Excel, tornam a ferramenta tecnológica acessível, uma vez que os *softwares* mencionados estão bem difundidos no mercado da AEC, seja com usuários compradores das ferramentas e/ou estudantes com acesso gratuito.

A aplicação de conceitos de EC na indústria da construção é quase inexistente na prática, seja nas etapas de projeto, de construção ou de fim de vida das edificações. Os estudos de EC e de PM estão em fase exploratória na academia e esta pesquisa diminuiu os espaços entre pesquisadores e profissionais da construção perante o tema.

Durante a pesquisa, a Autora se propôs a entender as possibilidades de inserir os temas da EC na indústria da AEC utilizando tecnologia. O artefato proposto se comporta como uma prova de conceito a ser testada em todas as etapas do ciclo de

vida de uma edificação. Para a Autora, as etapas de projeto favorecem o uso da ferramenta, pois é neste momento que as decisões são (ou deveriam ser) tomadas com mais eficiência. Durante as etapas de construção e manutenção, as informações do PM são essenciais para saber manipular os materiais bem como o PM é capaz de armazenar novas informações, caso haja alguma alteração na edificação. E por fim, a etapa de demolição está diretamente ligada ao potencial de reuso e reciclabilidade dos materiais.

O desenvolvimento do artefato se mostrou satisfatório referente ao seu desempenho. O recurso funciona e pode ser replicado. No entanto, na prática, os dados tornam-se fatores limitantes. A falta de padronização na busca por dados e/ou falta de interoperabilidade entre *softwares* dificulta o uso da ferramenta. Apesar das dificuldades, a escolha do método científico favorece a continuação da pesquisa para solucionar estes problemas.

Para futuras pesquisa, sugere-se novas rodadas no ciclo da DSR com o objetivo de melhorar a tecnologia da programação apresentada. Outros *softwares* e linguagem de programação podem ser testados, envolvendo equipes multidisciplinares de engenheiros civis, arquitetos, profissionais da área de TI e de gestão da informação. Profissionais da área de TI e gestão da informação são indispensáveis no desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e automatizadas, enquanto engenheiros civil e arquitetos são indispensáveis para o conhecimento dos materiais e das rotinas de projeto de arquitetura e engenharia.

Os parâmetros utilizados nesta pesquisa também podem ser reavaliados. A pesquisa mostrou com o exemplo do *woodframe* que muitos parâmetros existem e são de conhecimento do mercado. No entanto, pesquisas mais profundas que relacionem os parâmetros e o uso deles na prática profissional podem gerar PMs mais aplicáveis para a realidade da indústria.

Por fim, a pesquisa fomentou discussões importantes sobre a EC, o PM e a sustentabilidade na indústria da construção civil. Os avanços tecnológicos tendem a evoluir a prática sustentável na indústria da construção, agregando tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas e ciência de dados. No entanto, os avanços só se tornam reais com regulamentações, normativas e políticas de governo.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2020.

ALTURKI, Ahmad; GABLE, Guy G.; BANDARA, Wasana. A design science research roadmap. In: **Service-Oriented Perspectives in Design Science Research: 6th International Conference, DESRIST 2011, Milwaukee, WI, USA, May 5-6, 2011. Proceedings 6**. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 107-123.

ARAUJO, Aline Medeiros Ferreira. **Avaliação de ciclo de vida energética em edificações a partir de modelagem BIM e simulação termo energética: Aplicação Utilizando Revit e Energyplus**. 2018. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

ARUP. **The Circular Economy in the Built Environment**. London, 2016.

ARUP; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **First steps towards a circular built environment**. 2018.

ASSOCIAÇÃO SMART WASTE PORTUGAL. **Circular Buildings** - Guideline for creating Circular Material Passports. 2021. Disponível em: <https://construcaocircular.pt/assets/files/Guideline_MaterialPassports.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ATTA, Islam; BAKHOUM, Emad S.; MARZOUK, Mohamed M. Digitizing material passport for sustainable construction projects using BIM. **Journal of building engineering**, v. 43, p. 103233, 2021.

AUTODESK. **O que é o Revit?**. 2022. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

AUTODESK. **Conheça a ferramenta Dynamo da Autodesk e saiba como funciona**. 2022. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

AUTODESK. **Sobre parâmetros**. 2023. Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/PTB/?guid=GUID-AEBA08ED-BDF1-4E59-825A-BF9E4A871CF5>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

AUTODESK. **Parâmetros**. 2023. Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/PTB/?guid=GUID-D927E0DC-F720-4F7D-AACD-8B06787793CB>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

AUTODESK. **Parâmetros compartilhados**. 2023. Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/PTB/?guid=GUID-E7D12B71-C50D-46D8-886B-8E0C2B285988>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

AUTODESK. **Parâmetros de projeto**. 2023. Disponível em: <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/PTB/?guid=GUID-24033B80-62D4-4E04-AC15-FA8A6194A64F>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

BARBOZA, Douglas Vieira *et al.* Aplicação da Economia Circular na Construção Civil. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 7, p. e9871102-e9871102, 2019.

BASTA, Andrew; SERROR, Mohammed Hassanien; MARZOUK, Mohamed. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability. **Automation in construction**, v. 111, p. 103064, 2020.

BENACHIO, Gabriel Luiz Fritz; FREITAS, Maria do Carmo Duarte; TAVARES, Sergio Fernando. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. **Journal of cleaner production**, v. 260, p. 121046, 2020.

BENACHIO, Gabriel Luiz Fritz; FREITAS, Maria do Carmo Duarte; TAVARES, Sergio Fernando. Interactions between lean construction principles and circular economy practices for the construction industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 7, p. 04021068, 2021.

BOKKINGA, D. I. **The influence of a material passport on the value of real estate within the circular built environment**. 2018. Master thesis (Master) - Graduation Program Urban Systems and Real Estate, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Holanda, 2018.

BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB). 2022. Disponível em: <<https://www.bamb2020.eu>>. Acesso em: 8 jun. 2021

BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB). **Materials Passports**. 2022. Disponível em: <<https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

BUILDINGS AS MATERIAL BANKS (BAMB). **D1 Synthesis of the state-of-the-art: Key barriers and opportunities for Materials Passports and Reversible Building Design in the current system**. 2016.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Banco de Dados**. 2021. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Informativo Econômico**. 2022. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2022/08/informativo-economico-selic-agosto-22.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2021.

CAMPESTRINI, Tiago Francisco *et al.* **Entendendo BIM**. Curitiba, PR, 2015.

CHRISTIAN, Yun-Tsui Chang; HSIEH, Shang-Hsien. BIM-based assessment of building circularity and embodied carbon for a circular built environment. In: **Conference on Computer Applications in Civil and Hydraulic Engineering**. 2021.

CHAREF, Rabia; EMMITT, Stephen. Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 285, p. 124854, 2021.

CIRCLE ECONOMY. **The circularity gap report: A circular economy to live within the safe limits of the planet**. 2023.

COPELAND, Samuel; BILEC, Melissa. Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy. **Procedia Cirp**, v. 90, p. 143-147, 2020.

CRIPPA, Julianna. **Integração BIM-ACV como apoio a tomada de decisão na fase de concepção de projeto**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JUNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DRUIJFF, Bertus. **BIM-based material passport in Madaster during the operational and maintenance phase of a building**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, University of Twente Enschede, Holanda, 2019.

EASTMAN, C. M., TEICHOLZ, P. M., SAKS, R. E LISTON, K. **BIM Handbook**, volume I. New Jersey: John Wiley & Sonsl. 2008.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011. v. 2

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **Economia circular**. 2021. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>>. Acesso em: 5 mai. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **Growth within: a circular economy vision for a competitive europe**. 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **What is Circular Economy?**. 2022. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>>. Acesso em: 9 maio 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional (BEN) 2020**: Ano base 2019, 2020. Disponível em <www.epe.gov.br>. Acesso em: 17 mar. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional (BEN) 2021**: Ano base 2020, 2021. Disponível em <www.epe.gov.br>. Acesso em: 9 mai. 2022.

FOOTPRINT NETWORK. **Ecological Footprint**. 2023. Disponível em: <<https://www.footprintnetwork.org/>>. Acesso em: 1 mai. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2008.

GEISSDOERFER, Martin *et al.* The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GREGOR, Shirley; JONES, David. The anatomy of a design theory. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 8, n. 5, p. 312-335, 2007.

HAO, Jian Li *et al.* Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: A BIM-based life-cycle assessment approach. **Science of The Total Environment**, v. 723, p. 137870, 2020.

HART, Jim *et al.* Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. **Procedia Cirp**, v. 80, p. 619-624, 2019.

HEINRICH, Matthias; LANG, Werner. **Materials passports-best practice**. Technische Universität München, Fakultät für Architektur, 2019.

HEISEL, Felix; RAU-OBERHUBER, Sabine. Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. **Journal of cleaner production**, v. 243, p. 118482, 2020.

HEVNER, Alan R. *et al.* Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

HONIC, Meliha *et al.* Data-and *stakeholder* management framework for the implementation of BIM-based Material Passports. **Journal of building engineering**, v. 23, p. 341-350, 2019. **b**

HONIC, Meliha; KOVACIC, Iva; RECHBERGER, Helmut. Concept for a BIM-based Material Passport for buildings. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012073. **a**

ING. **Rethinking finance in a circular economy** – Financial implications of circular business model. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/qebiVw>>. Acesso em: 9 jun. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**: Relatório de pesquisa. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Transition to Sustainable Buildings - Strategies and opportunities to 2050**, Iea.Org. Paris, France, 2013

INTERNATIONAL RESOURCE PANEL (IRP). **Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction**. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. 2017.

KHAN, Mohd E. Different approaches to black box. **International Journal of Software Engineering & Applications**, v. 2, n. 4, p. 31-40, 2011.

KEDIR, Firehiwot; BUCHER, David F.; HALL, Daniel M. A proposed material passport ontology to enable circularity for industrialized construction. In: **Proceedings of the 2021 European Conference on Computing in Construction, Rhodes, Greece**. 2021. p. 25-27.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, p. 741-761, 2013.

LAYKE, Jennifer *et al.* **Accelerating building efficiency**: Eight actions for urban leaders. 2016.

LUSCUERE, L. M. **Materials Passports**: Optimising value recovery from materials. ICE publishing, v. 170, n. 1, p. 1–4, 2016.

MADASTER. 2018. **Madaster Circularity Indicator explained**. Netherlands. Disponível em: <https://docs.madaster.com/files/Madaster_Circularity_Indicator_explained_v1.1.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

MADASTER. 2023. Disponível em: <<https://madaster.com/>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE (MGI). **Reinventing construction: a route to higher productivity**. McKinsey & Company, 2017.

MEISTER, Kozmo. **Concrete valorization for a Circular Economy: The exploration of an integrated RFID-based material passport system in the Netherlands**. 2020. Master thesis (Master) - Graduation Program Industrial Ecology, Delft University of Technology, Delft, Holanda, 2020.

MULHALL, D. *et al.* Buildings as Materials Banks (BAMB) - Framework for Materials Passports. 2017.

MUNARO, Mayara Regina *et al.* Proposal of a building material passport and its application feasibility to the wood frame constructive system in Brazil. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2019. p. 012018.

MUNARO, Mayara Regina *et al.* Circular business models: Current state and framework to achieve sustainable buildings. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 12, p. 04021164, 2021.

MUNARO, Mayara Regina; FREITAS, Maria do Carmo Duarte; TAVARES, Sergio Fernando. Integração de big data para impulsionar a economia circular no ambiente construído. **Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**, p. 1-8, 2020.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sérgio Fernando. Analysis of Brazilian public policies related to the implementation of circular economy in civil construction. **Ambiente Construído**, v. 22, p. 129-142, 2022.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sergio Fernando. Materials passport's review: challenges and opportunities toward a circular economy building sector. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 11, n. 4, p. 767-782, 2021.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sergio Fernando; BRAGANÇA, Luís. The ecodesign methodologies to achieve buildings' deconstruction: A review and framework. **Sustainable Production and Consumption**, 2021.

MUNARO, Mayara Regina; TAVARES, Sérgio Fernando; BRAGANÇA, Luís. Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121134, 2020.

MUNARO, Mayara Regina. **The circular economy in the construction sector: existing trends, challenges, and tools towards buildings as material banks**. 2022. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

MYERS, Michael D.; VENABLE, John R. A set of ethical principles for design science research in information systems. **Information & Management**, v. 51, n. 6, p. 801-809, 2014.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 8 jun. 2022.

NIBS, National Institute of Building Sciences. **National Building Information Modeling Standard (NBIMS) Version 1.0 – Part 1: Overview, Principles, and Methodology**. Washington, DC: NIBS, 2007.

ONETOOLS. 2023. Disponível em: <<https://www.onetools.de/buildingone/>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

POTTING, José *et al.* Circular economy: measuring innovation in the product chain. **Planbureau voor de Leefomgeving**, n. 2544, 2017.

RAHLA, Kamel Mohamed; MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís. Selection criteria for building materials and components in line with the circular economy principles in the built environment—A review of current trends. **Infrastructures**, v. 6, n. 4, p. 49, 2021.

RÖCK, Martin *et al.* LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. **Building and environment**, v. 140, p. 153-161, 2018.

SANTOS, Aguinaldo dos *et al.* Seleção do Método de Pesquisa: guia para pós-graduandos em Design e áreas afins. **Editora Insight**, 2018.

SCHEER, Sergio. BIM. 2013.

SEBASTIAN, T. *et al.* Open BIM-based LCA of HVAC and circularity assessment using the Madaster platform. In: **CLIMA 2022 conference**. 2022.

UNITED NATIONS (UN). **Worlds Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. 2018. Disponível em: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2018_Directors_Statement_at_the_Press_Briefing.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

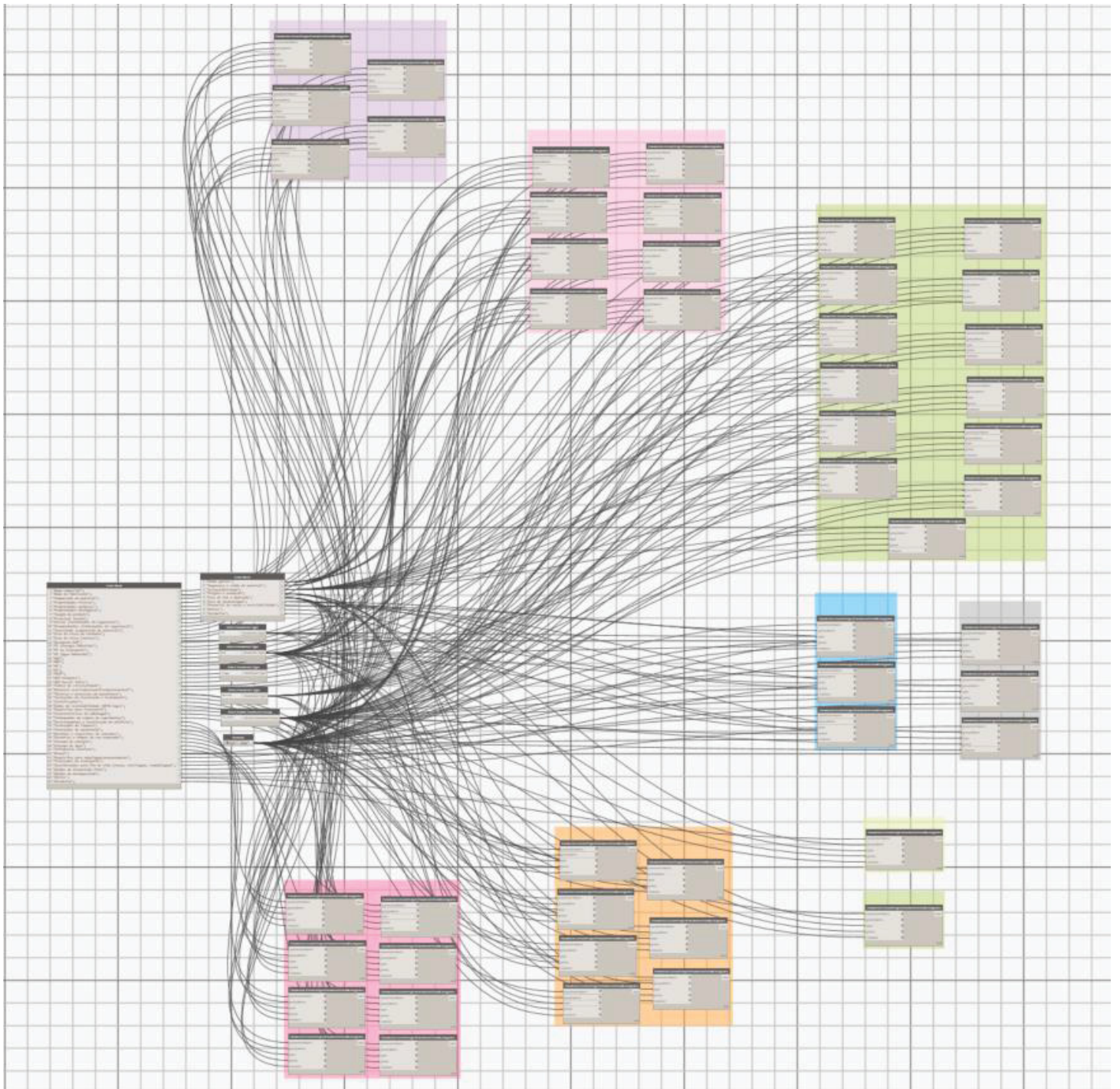
WALLS, Joseph G.; WIDMEYER, George R.; SAWY, Omar A. E. Building an information system design theory for vigilant EIS. **Information systems research**, v. 3, n. 1, p. 36-59, 1992.

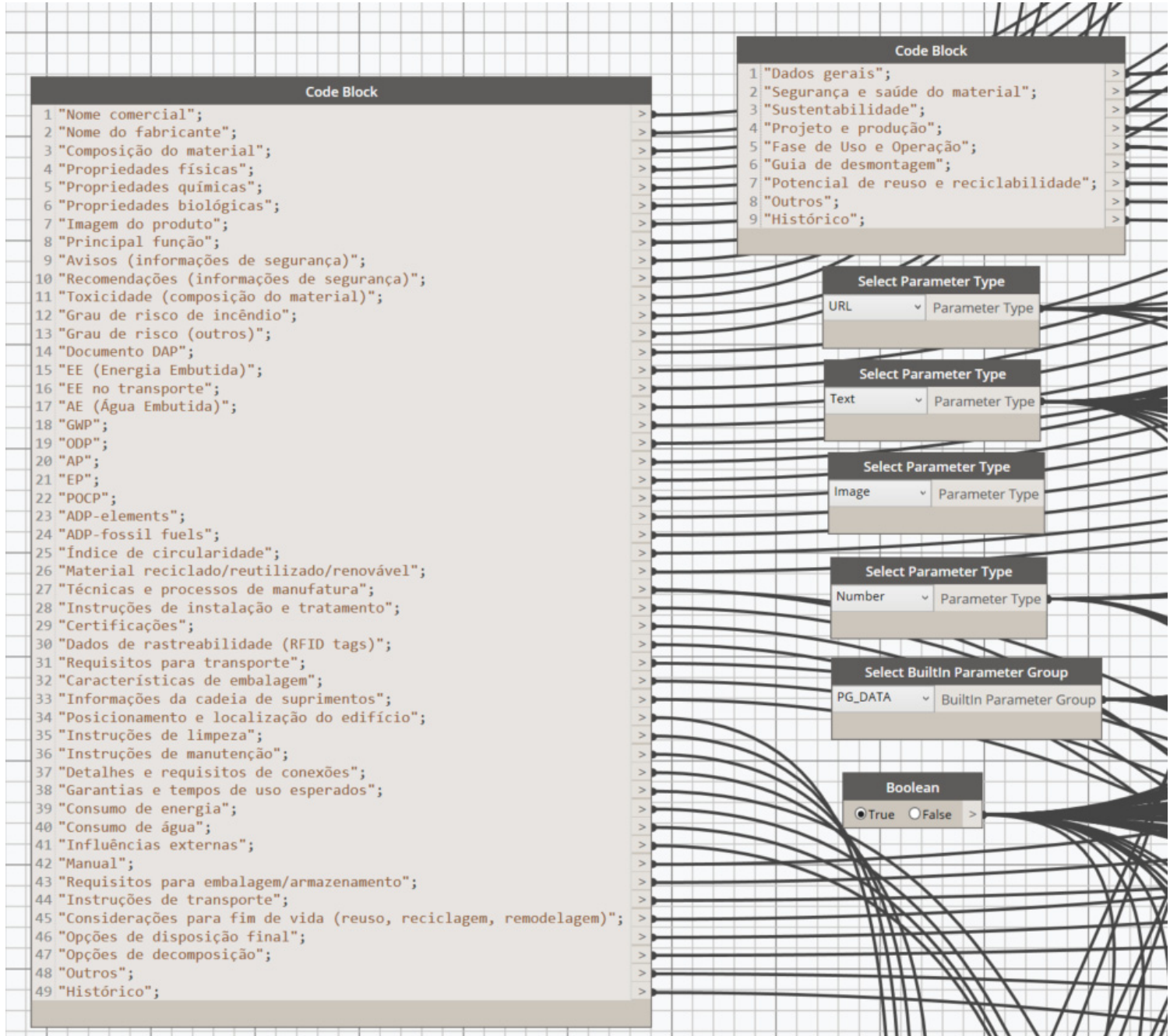
WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Towards the circular economy: accelerating the scale-up across global supply chains**. In: World Economic Forum. 2014.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology**. Geneva: World Economic Forum, 2016.

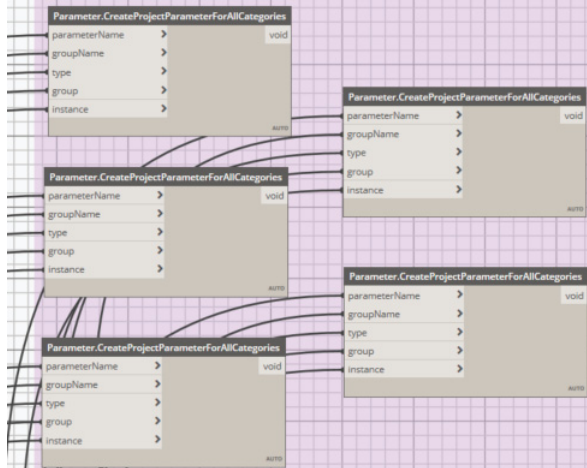
XUE, Kai *et al.* BIM integrated LCA for promoting circular economy towards sustainable construction: An analytical review. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1310, 2021.

APÊNDICE A – ROTINA DE CRIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROJETO E DE INSTÂNCIA

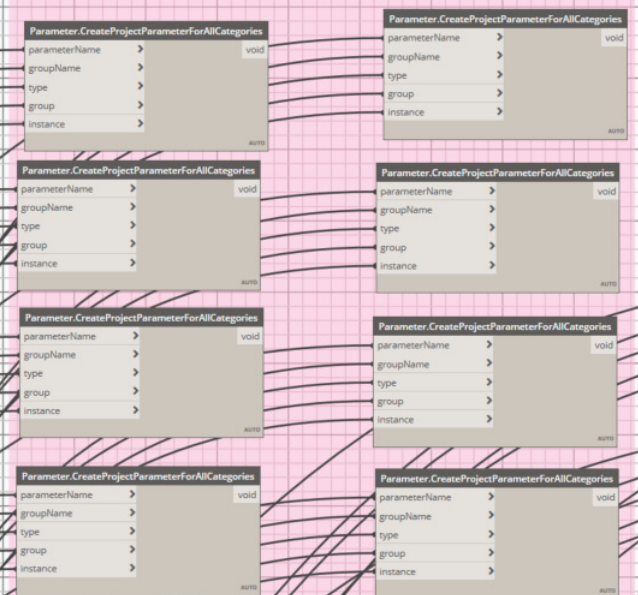


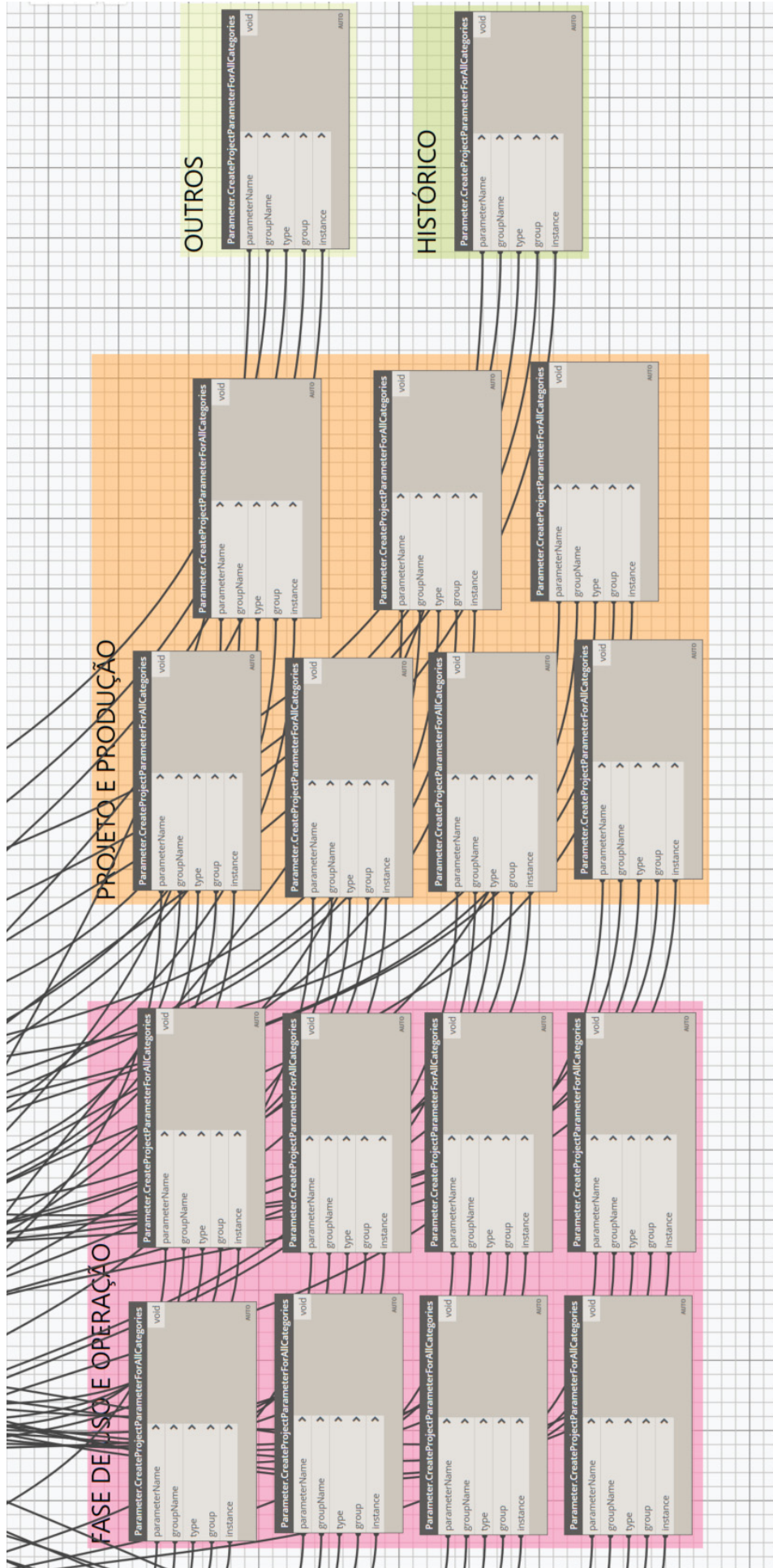


SEGURANÇA E SAÚDE DOS MATERIAIS



DADOS GERAIS

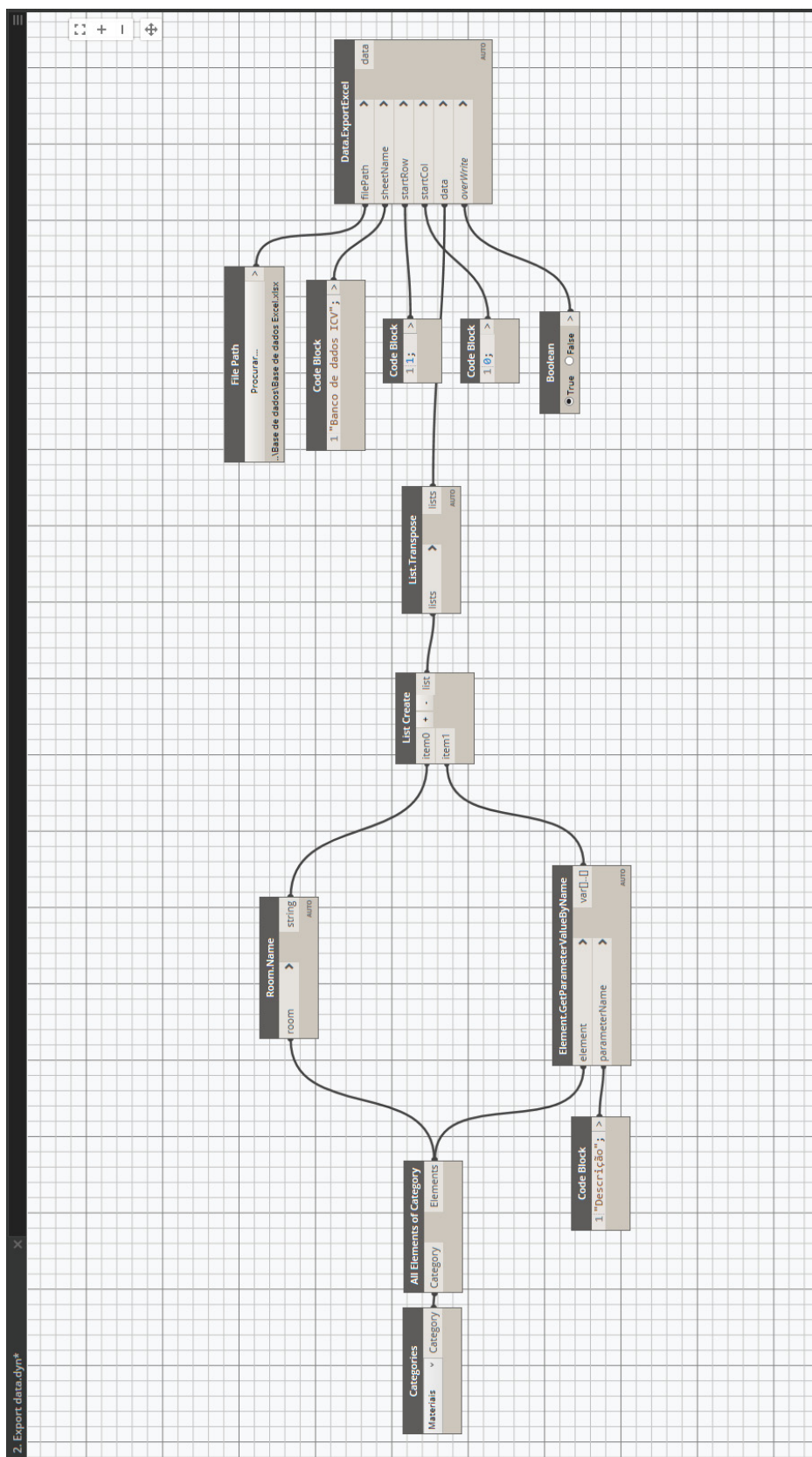




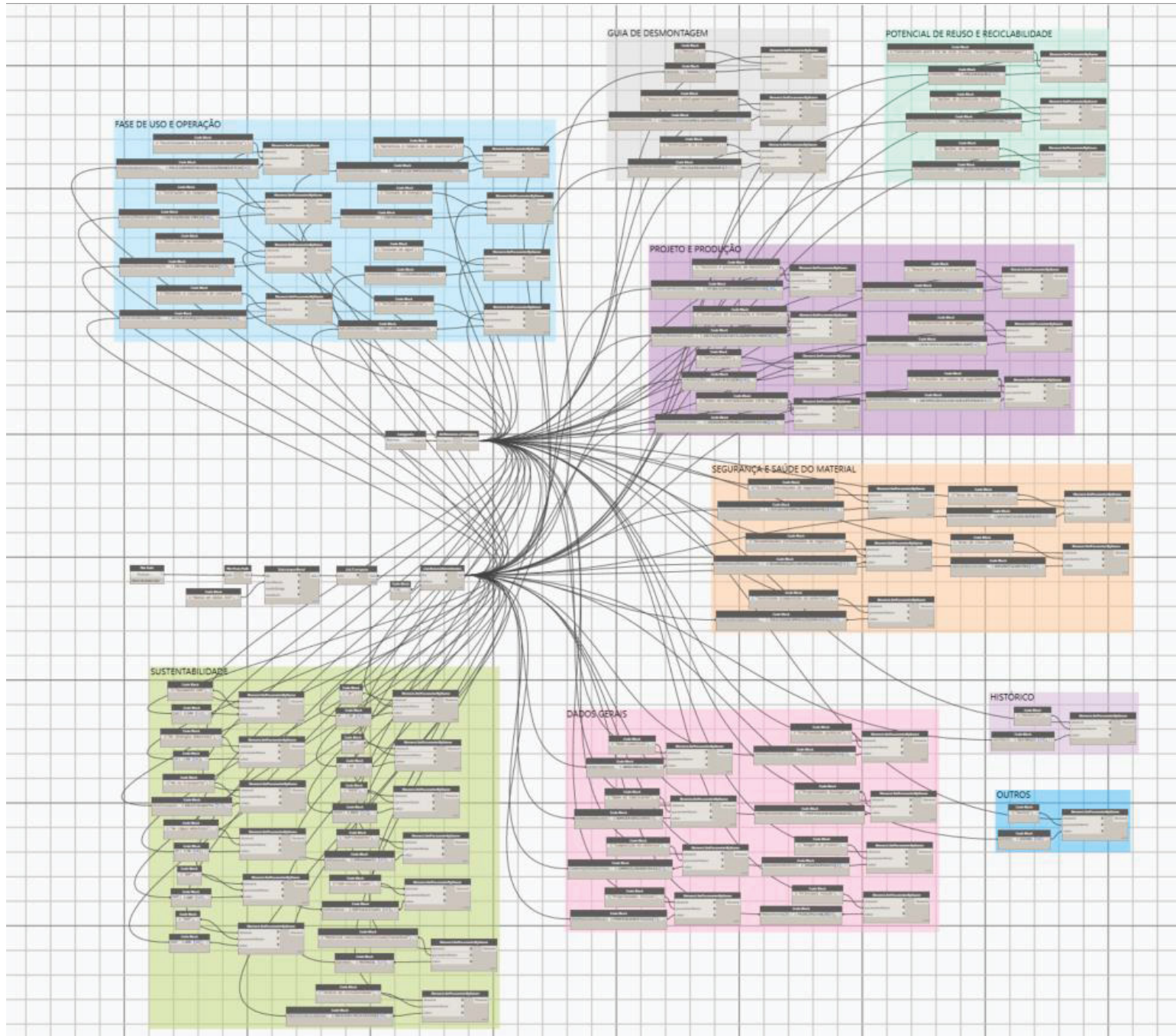
SUSTENTABILIDADE

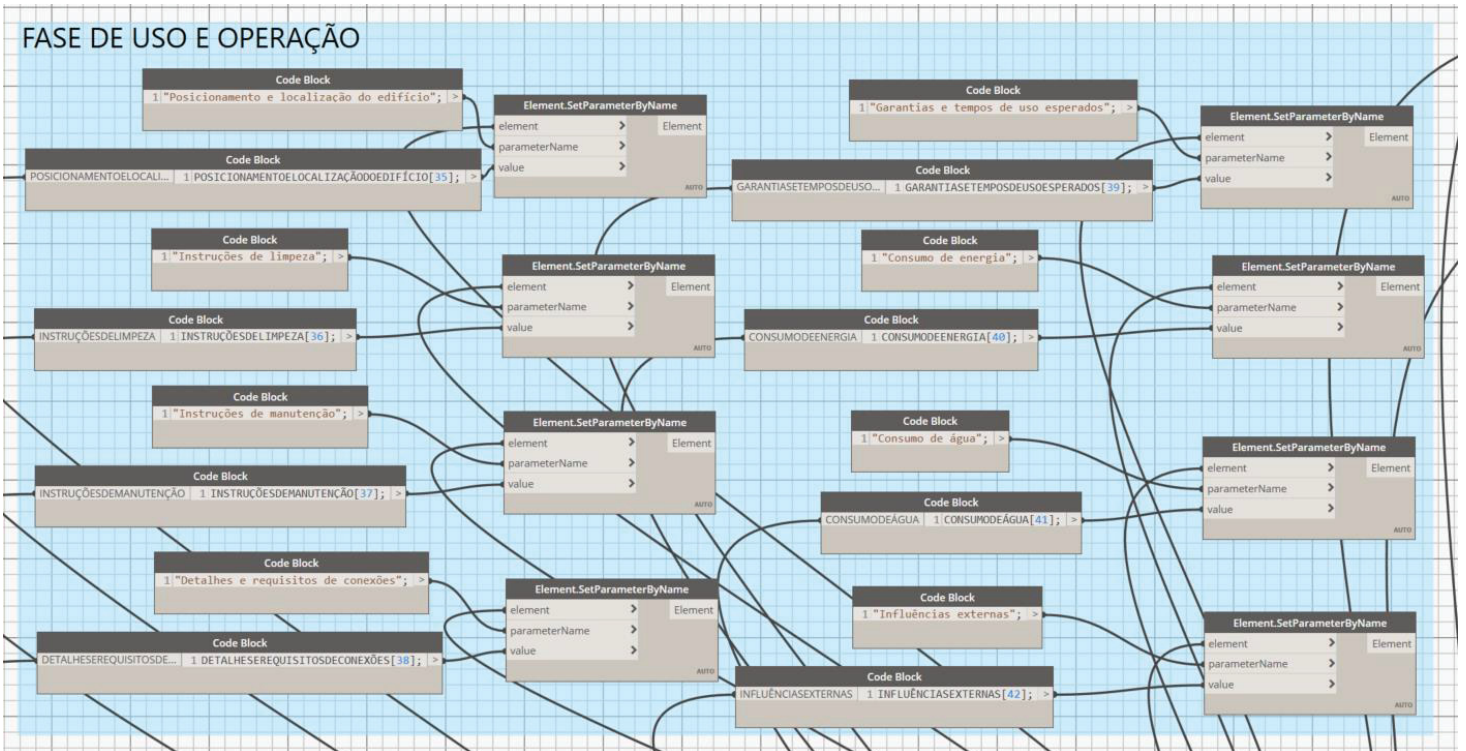
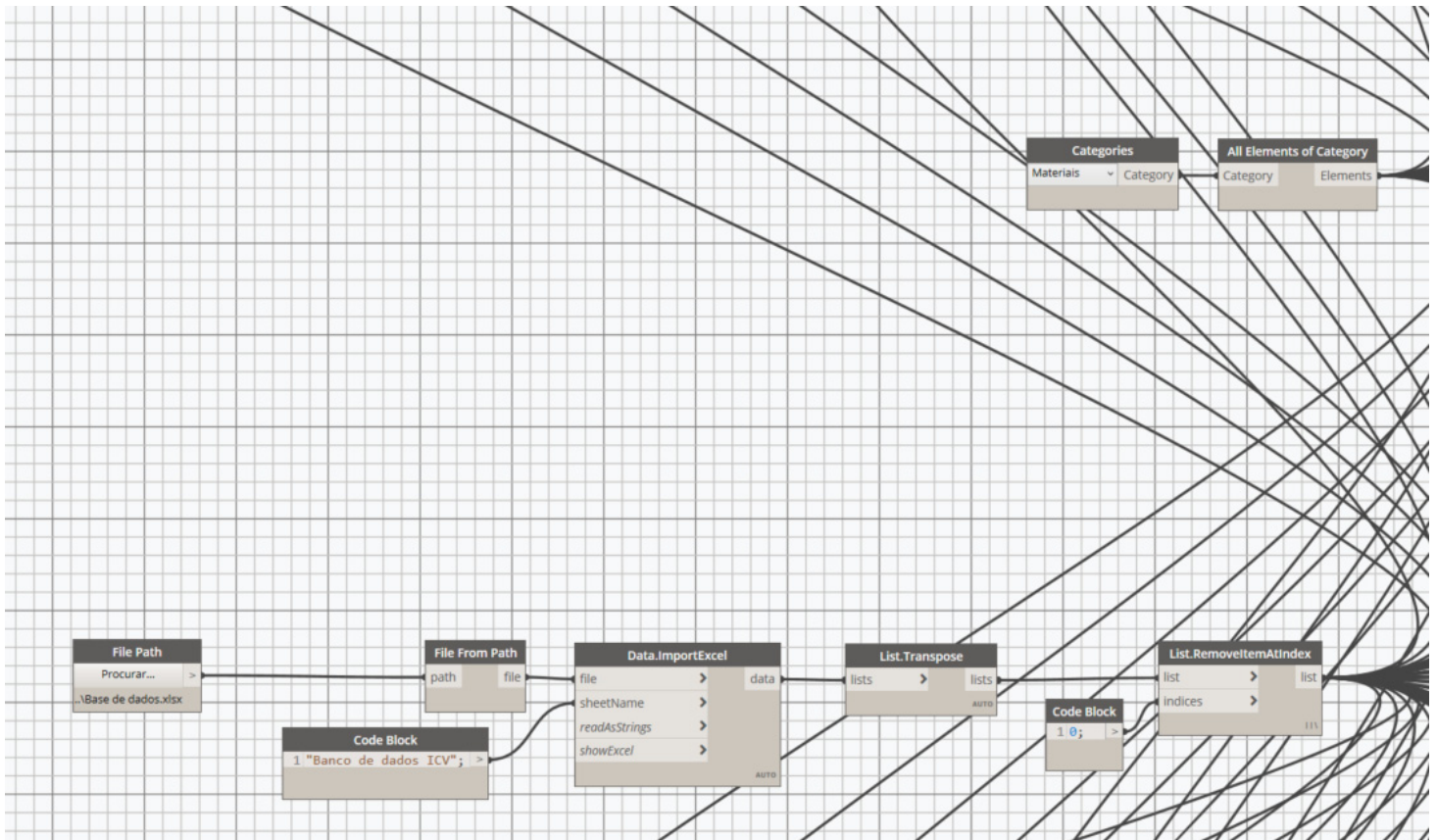


APÊNDICE B – ROTINA DE EXPORTAÇÃO DA LISTA DE MATERIAIS DO MODELO REVIT

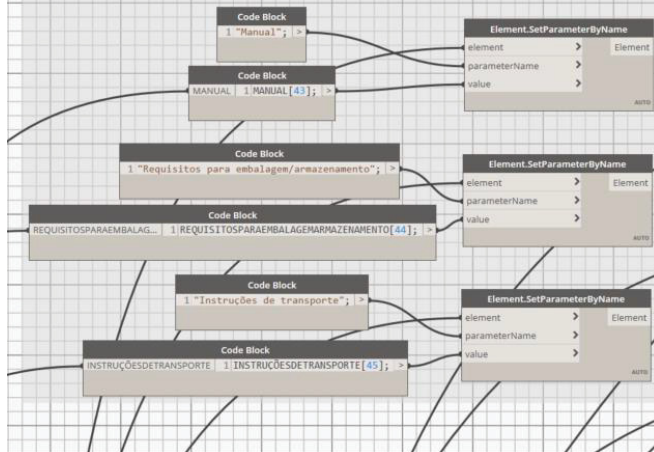


APÊNDICE C – ROTINA DE IMPORTAÇÃO DE DADOS DOS MATERIAIS PARA O MODELO REVIT

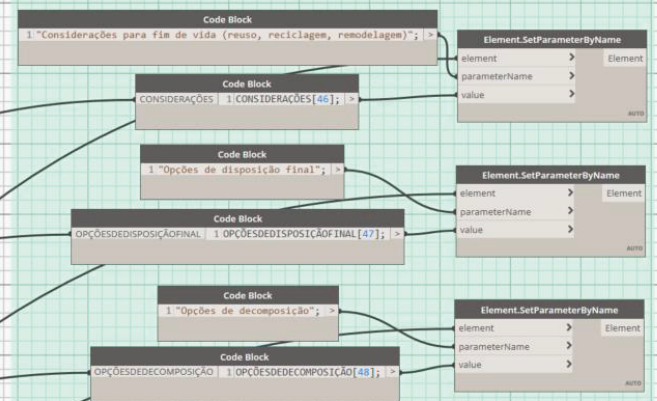




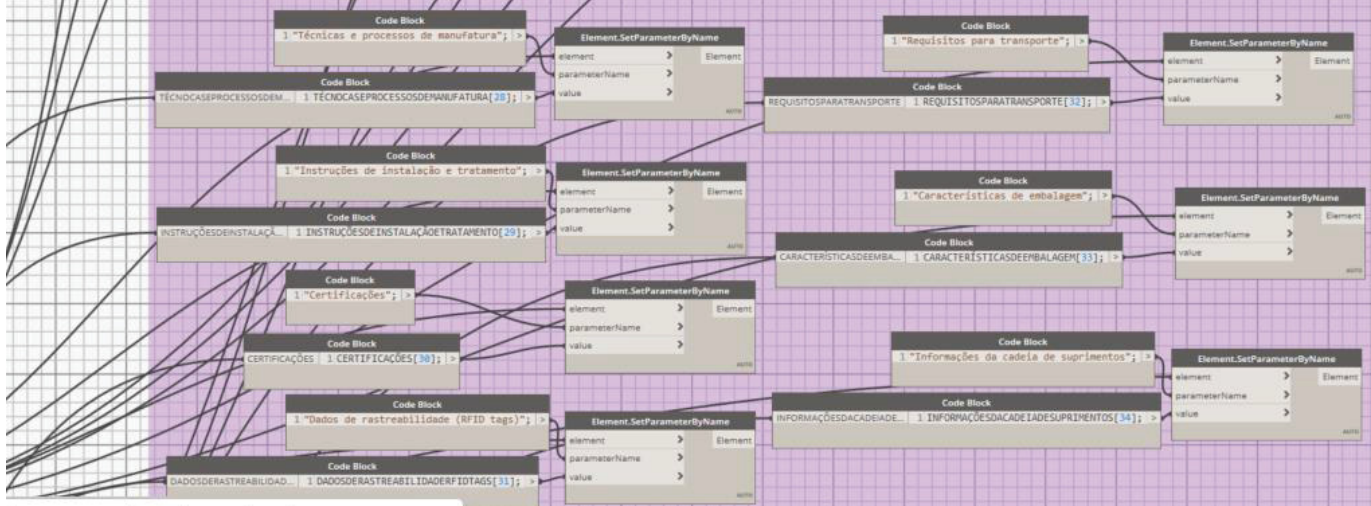
GUIA DE DESMONTAGEM



POTENCIAL DE REUSO E RECICLABILIDADE

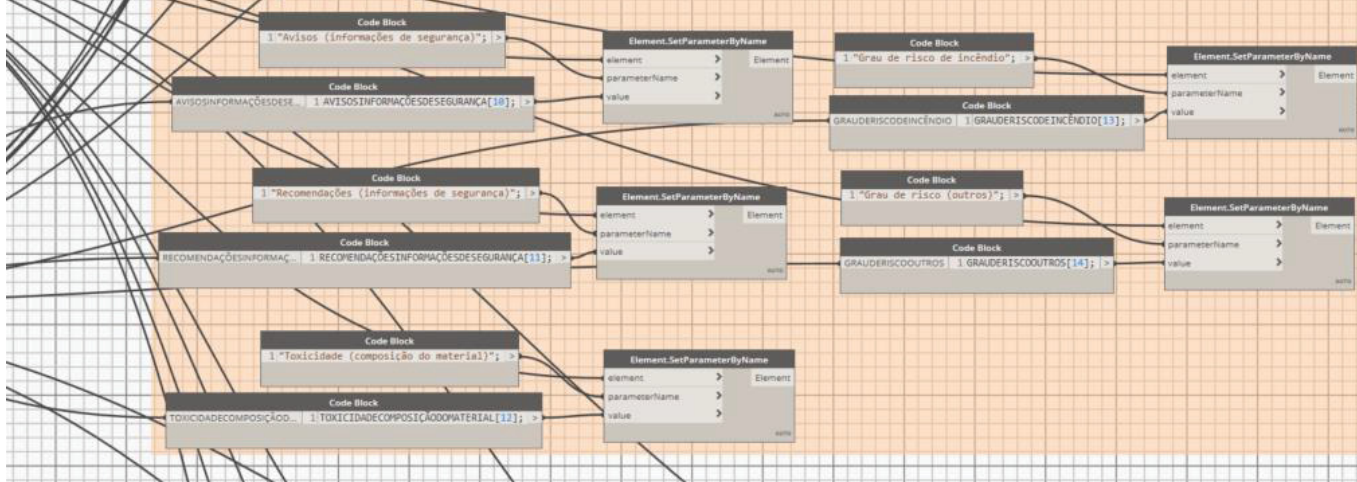


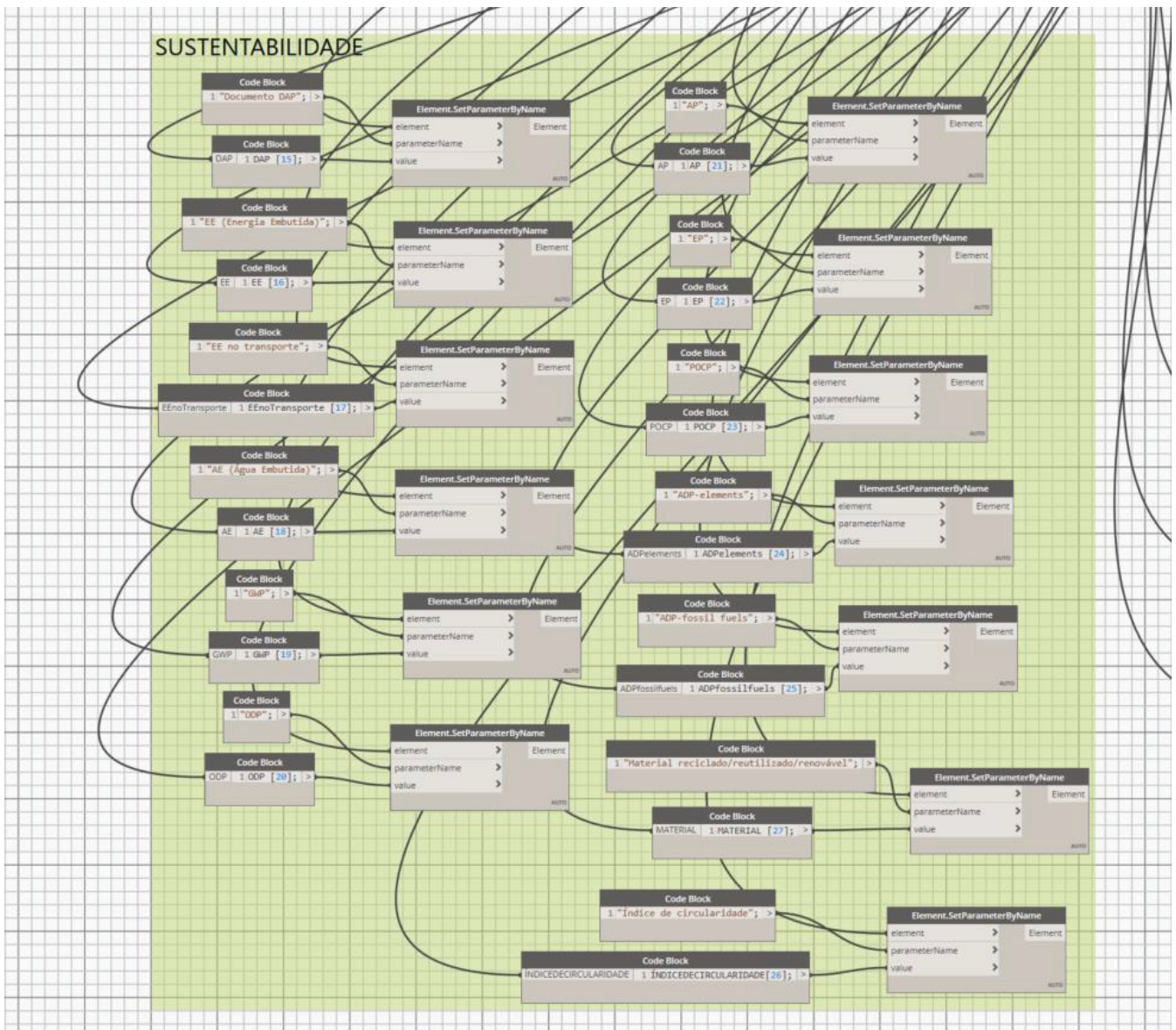
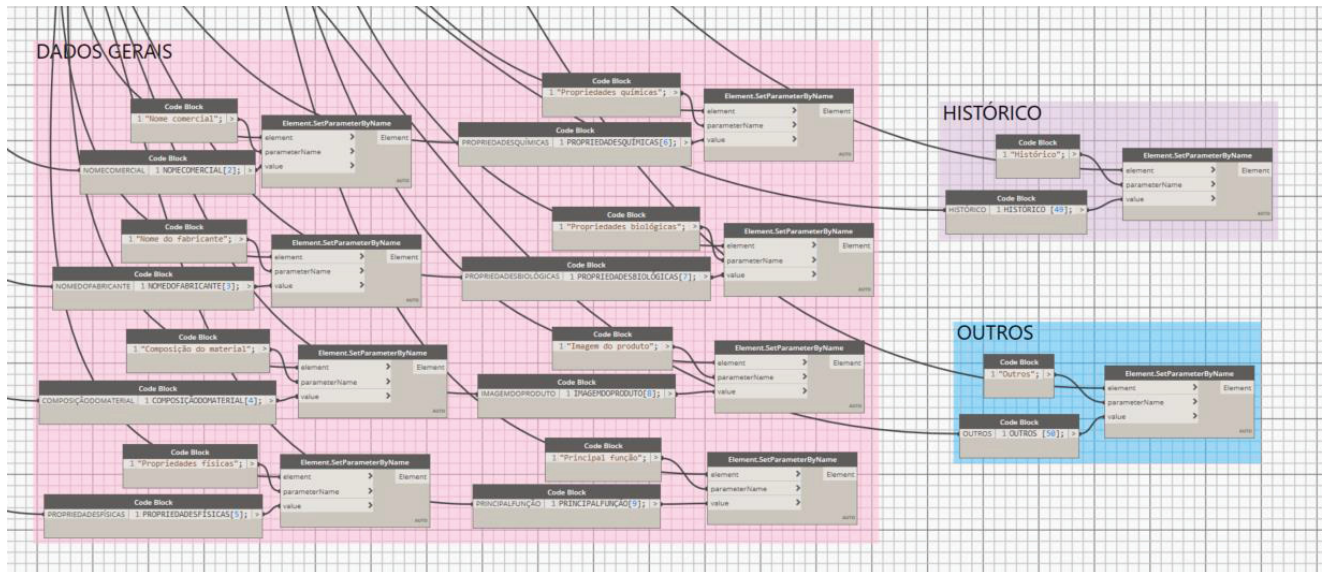
PROJETO E PRODUÇÃO



documento foi salvo pela última vez: Agora

SEGURANÇA E SAÚDE DO MATERIAL





APÊNDICE D – TABELAS DO PM GERADAS A PARTIR DO SOFTWARE REVIT

<CATEGORIA DADOS GERAIS>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Material: Nome comercial	Material: Nome do fabricante	Material: Composição do material	Material: Propriedades físicas	Material: Propriedades químicas	Material: Propriedades biológicas	Material: Imagem do produto	Material: Principal função
A	B	C	D	E	F	G	H
A	B	C	D	E	F	G	H

<CATEGORIA SEGURANÇA E SAÚDE DO MATERIAL>					
A	B	C	D	E	F
Material: Nome comercial	Material: Avisos (informações de segurança)	Material: Recomendações (informações de segurança)	Material: Toxicidade (composição do material)	Material: Grau de risco de incêndio	Material: Grau de risco (outros)
A	A	B	C	D	E
A	A	B	C	D	E

<CATEGORIA PROJETO E PRODUÇÃO>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Material: Nome comercial	Material: Técnicas e processos de manufatura	Material: Instruções de instalação e tratamento	Material: Certificações	Material: Dados de rastreabilidade (RFID tags)	Material: Requisitos para transporte	Material: Características de embalagem	Material: Informações da cadeia de suprimento
A	A	B	https://www.scielo.br/j/	C	D	E	F
A	A	B	https://www.scielo.br/j/	C	D	E	F

<CATEGORIA FASE DE USO E OPERAÇÃO>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Material: Nome comercial	Material: Posicionamento e localização do	Material: Instruções de limpeza	Material: Instruções de manutenção	Material: Detalhes e requisitos de conexões	Material: Garantias e tempos de uso esperados	Material: Consumo de energia	Material: Consumo de água	Material: Influências
A	A	B	C	https://www.scielo.br/j/gpia/3CZmL4JxLmxC	10	20		D
A	A	B	C	https://www.scielo.br/j/gpia/3CZmL4JxLmxC	10	20		D

<CATEGORIA GUIA DE DESMONTAGEM>			
A	B	C	D
Material: Nome comercial	Material: Manual	Material: Requisitos para embalagem/armazenamento	Material: Instruções de transporte
A	https://www.scielo.br/j/	A	B
A	https://www.scielo.br/j/	A	B

<CATEGORIA POTENCIAL DE REUSO E RECICLABILIDADE>			
A	B	C	D
Material: Nome comercial	Material: Considerações para fim de vida (reuso, reciclagem, remodelagem)	Material: Opções de disposição final	Material: Opções de decomposição
A	A	B	C
A	A	B	C

CATEGORIA HISTÓRICO	
A	B
Material: Nome comercial	Material: Histórico
A	A
A	A

CATEGORIA OUTROS	
A	B
Material: Nome comercial	Material: Outros
A	A
A	A

APÊNDICE E – RESPOSTAS DO PROTOCOLO DE ENTREVISTAS

ETAPA 1

O que você entende por...	... Economia Circular na construção civil?
Entrevistado I	“A questão de reutilização e todas as formas de reduzir impacto ambiental vinculados aos materiais que englobam todas as etapas da construção. Exemplos: monitoramento do ciclo de vida de materiais; otimizar o projeto com o objetivo de utilizar menos materiais e evitar o desperdício; aplicar técnicas de projeto com objetivo de não desperdiçar recursos naturais como água da chuva, energia solar, entre outros.” “Considerando que a indústria da Construção Civil é responsável por grande parte da exploração de recursos naturais do mundo e gera uma quantidade de resíduos bastante significativa, entendo que um sistema econômico, no qual haja uma circularidade de materiais é essencial, se desejamos, de fato, exercer o desenvolvimento sustentável. A economia circular na construção civil tem o papel fundamental de reduzir a exploração de novos recursos para fabricação de materiais, simultaneamente, reduzir desperdícios de materiais durante as obras enquanto ainda favorece a reciclagem e regeneração de resíduos, evitando a superlotação de aterros sanitários e, principalmente, o descarte inapropriado.” “Economia Circular é aquilo que conseguimos fazer uso de materiais ou mesmo de uma edificação completa de uma maneira que não fique apenas no projeto original no qual ele foi concebido. Ter uma ideia de que o material/edificação possa ser reutilizado em outros meios e com outros objetivos. Muitas vezes você pode projetar esta edificação/material pensando nesta reutilização. Isso, de certa maneira, favorece a ideia de EC.” “Para mim a economia circular na construção civil está muito ligada ao ciclo de vida da edificação em que a gente tem um processo de pré-obra, de projeto, de construção e depois tem uma parte de <i>retrofit</i>, de reconstrução e até de desmontagem ou requalificação dessa edificação. Então para mim esse conceito da economia circular vai estar muito ligado a forma da gente planejar essa edificação, quais materiais a gente vai utilizar, qual processo construtivo vai ser feito que permita com que possamos reutilizar etc. A escolha de materiais de forma que a gente possa desmontar, reaproveitar, reutilizar, conseguir de alguma forma transformar esse processo mais de uma forma cíclica do que de uma forma linear como é feito hoje.”
Entrevistado II	
Entrevistado III	
Entrevistado IV	

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Passaporte de Materiais como ferramenta tecnológica para inserção da EC na indústria da construção?
Entrevistado I	"De alguma forma é possível monitorar o caminho que este material percorreu até chegar na destinação final."
Entrevistado II	"Um dos principais objetivos do passaporte de materiais na construção seria a conscientização, informação e, principalmente, a validação de parâmetros de sustentabilidade e circularidade de determinado material. É uma ferramenta muito importante para o funcionamento da Economia Circular. Vejo o passaporte como uma ferramenta bastante alinhada com a crescente indústria da Tecnologia da Informação, visto que a base tecnológica para o passaporte de materiais deveria ser o Block Chain, para validação e confiabilidade das informações, e tratamento de dados, tanto para alimentar as informações do passaporte, como para direcionar estratégias de mercado."
Entrevistado III	"Acho muito complexo a utilização do PM. Existe uma gama enorme de materiais sendo desenvolvidos todos os dias. Manter este cadastro atualizado é extremamente complexo e fazer uso destes materiais ou deste cadastro do passaporte acaba sendo algo que dificilmente o mercado vai conseguir absorver na rotina porque é uma burocracia a mais. Entendo que hoje o PM está limitado a academia. Dificilmente vai ser algo que o mercado vai absorver como uma informação adicional e comum a todos os materiais da indústria da construção civil. Eu nunca escutei no mercado da construção algum fornecedor ou cliente solicitar o PM. Apenas na academia isso foi mencionado. Ainda está muito distante e pouca chance de viabilidade."
Entrevistado IV	"Sinceramente eu vou dizer que eu sei muito pouco sobre esse assunto. O pouco que eu que eu ouvi foi de uma de uma palestra uma vez de uma mestranda do mesmo programa de mestrado que a gente fez. Não vou dizer que é o que eu que entendo porque talvez esteja assumindo algumas premissas que não necessariamente são verdadeiras. Mas acredito que seja justamente esse processo de você conseguir estabelecer quais materiais são possíveis de serem reutilizados, reciclados etc. Qual que é o ciclo de vida dele, quais são as características, enfim, tudo que está ligado a esse material para que você consiga depois aplicá-lo numa sequência desse ciclo. Então, características inerentes a esse material vão estar contida nesse documento, que seria esse passaporte."

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Uso de tecnologia e ferramentas afim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
Entrevistado I	“Tudo o que colaborar para que atinja o objetivo de edificações e construções mais sustentáveis são válidos. Exemplos: aplicação de técnicas de projeto com objetivo de não desperdiçar recursos naturais como água da chuva, energia solar, entre outros.”
Entrevistado II	“Vejo a indústria da construção, atualmente, ainda muito “artesanal”, baseada em processos arcaicos e poluentes e altamente dependente da mão de obra de pessoas que, infelizmente, não tem acesso a discussões sobre sustentabilidade, economia circular etc. Eu acredito profundamente que a tecnologia é uma grande aliada para um mundo mais ambiental e socialmente justo. Portanto, a indústria da construção precisa se atualizar e otimizar seus processos, seguindo o exemplo de outros setores de manufatura, que têm seus fluxos e processos mapeados e medidos, possibilitando avaliações de qualidade e quantificação de indicadores ambientais e econômicos. E para isso, o desenvolvimento de novas tecnologias é imprescindível, porém deve ocorrer em conjunto com a conscientização e inclusão digital de todos os atuentes.”
Entrevistado III	“Não existe uma correlação direta. Tecnologia e ferramentas tecnológicas vão ser sempre utilizadas pela humanidade para melhorar o desempenho daquilo que o ser humano quer desenvolver. Consequentemente, pode esbarrar em termos de sustentabilidade, mas o ser humano quando desenvolve alguma coisa nem sempre está mirando aspectos de sustentabilidade. Pode ser consequência disso, mas não é objetivo. O desenvolvimento de uma nova ferramenta, como o BIM, não foi feito para aspecto de sustentabilidade. No entanto, com essa nova ferramenta, é possível imputar aspectos de sustentabilidade fazendo uso na ferramenta. Não tem uma correlação direta, mas de certa maneira, e forma fronteira, pode-se fazer uso para esse direcionamento.”
Entrevistado IV	“Eu acho que a tecnologia da informação é primordial para que os projetos e a construção civil como um todo consigam evoluir de uma forma a se tornar mais sustentável. E essa tecnologia não só a tecnologia da informação, mas também a tecnologia aplicada aos materiais, aos processos construtivos. Então ferramentas de medição, de simulação, de compatibilização, de análises de ciclo de vida, análise lumínica, enfim todas essas possibilidades que a tecnologia consegue agregar acho que possibilitam uma evolução no processo de projeto e de construção que caminham para que a gente consiga ter projetos mais sustentáveis. Além disso a evolução de pesquisas faz com que a gente tenha materiais menos poluentes, materiais que gerem menos impacto dentro das construções, dentro das obras. E tudo isso aliado a uma parte de projeto, de planejamento bem pensado, consegue trazer características importantes para pensar em projetos mais sustentáveis ao longo dos próximos tempos.”

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Uso de tecnologia BIM afim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
Entrevistado I	“Consigo ver utilização do BIM com esse objetivo, principalmente no que diz respeito a otimização. Com o uso da tecnologia BIM é possível planejar melhor a obra/construção antecipando problemas de construção e demolição na etapa de projeto. Um dos principais exemplos disso é a redução e/ou não desperdício de materiais.”
Entrevistado II	“Entendo o BIM como uma tecnologia que permite automatizar e otimizar processos, desde o desenvolvimento de projetos, construção e obra, gerenciamento e gestão do uso dos empreendimentos e edifícios, até a fase de desconstrução. Sendo assim, o BIM está totalmente relacionado com a Economia Circular e sustentabilidade das construções. Além disso, o BIM traz vantagens na produtividade, qualidade, gestão de tempo e gestão econômica no setor de arquitetura, engenharia e construção.”
Entrevistado III	“O BIM tem múltiplas funcionalidades, desde melhorias de economia de recursos e tempo, redução de erros de projeto, melhor visualização e compreensão, modelo paramétrico e 3D. Uma série de características vantajosas. De certa maneira é difícil quantificar como isso proporciona a sustentabilidade. Um exemplo é a economia em recursos com assertividade em projeto. Como quantificar o erro que você não cometeu? É muito complexo. No entanto, ajuda sim e é uma das funções do BIM, ou uma função superficial do BIM. A tecnologia não foi desenvolvida para a sustentabilidade, mas pode sim ajudar no desenvolvimento sustentável para a edificação. É uma ferramenta muito ampla e que tem vários benefícios, inclusive o sustentável.”

Entrevistado IV

“Bom, se na resposta anterior eu falei da importância da tecnologia da informação dentro da construção civil acho que não tem como não trazer o BIM para essa discussão. Toda a base do BIM falando de informação, coordenação, compatibilização, troca e gestão integrada, está totalmente aliado a essa possibilidade de pensar numa indústria da construção civil mais sustentável, com menos impacto, com mais eficiência. Então o uso da informação e de quanto você pode agregar essa informação nas fases iniciais de projetos e depois trazer isso para a obra, e depois da obra construída trazer para um comissionamento para fazer a gestão dos ativos, para depois uma análise se os resultados estão de acordo, como tinha sido planejado. As possibilidades ligadas a simulações que permitem com que se escolha determinadas soluções, determinados materiais, determinados processos em função das dos dados que são levantados em cima dessas simulações. Acho que tudo isso tem muito a agregar para esse processo. Além disso a colaboração, que é também um fator chave dentro do processo BIM, é muito importante também quando a gente está falando de sustentabilidade. Então, se você está com todos os *stakeholders* próximos na concepção no projeto, por exemplo, faz com que você tenha melhores decisões. Decisões que vão acarretar melhores materiais, de melhores soluções, de menos consumo de água, energia, enfim, tudo que está ligado. Esses macro grupos dentro do que a gente entende por projetos mais sustentáveis, mais eficientes. Tudo isso também passa por essa integração de todos os agentes envolvidos e quanto mais cedo acontece a integração melhores são os resultados, obviamente. Então acho que esse aspecto também tem bastante a contribuir dentro desse caráter da sustentabilidade.”

FONTE: A autora (2023).

ETAPA 2

O que você entende por...	... Economia Circular na construção civil?
Entrevistado I	"Trata-se de um modelo de economia que tem como princípio a não geração de resíduos em nenhuma etapa dos processos construtivos."
Entrevistado II	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado III	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado IV	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Passaporte de Materiais como ferramenta tecnológica para inserção da EC na indústria da construção?
Entrevistado I	“É um meio que permite aplicar a economia circular dentro da construção civil. O passaporte de materiais é um conjunto de dados de forma digital com informações sobre o material. A ideia é que, com essas informações, o material possa ser direcionado para um novo uso ou que tenha uma correta destinação, fechando o ciclo. Dessa forma, quanto mais informações o passaporte possuir a respeito de um material, melhor.”
Entrevistado II	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado III	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado IV	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Uso de tecnologia e ferramentas afim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
Entrevistado I	“É um fato que os recursos naturais disponíveis na natureza são finitos e, além disso, o impacto que os resíduos gerados na construção civil colaboram (e muito) para a degradação do planeta. Por esses motivos, é de extrema importância a criação e implementação de soluções que tenham como objetivo projetos e construções mais sustentáveis.”
Entrevistado II	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado III	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado IV	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Uso de tecnologia BIM afim de atingir projetos de edificações e construções mais sustentáveis na indústria da construção?
Entrevistado I	“Além de ver a tecnologia BIM como uma forma de modelagem de sistemas sustentáveis em construção, vejo que vários dos benefícios do seu uso já são, por si só, formas mais sustentáveis de se planejar e construir uma edificação. Por exemplo, o uso dessa ferramenta permite ter um quantitativo de materiais bem próxima à realidade, evitando, de certa forma, a compra e desperdício de materiais. Além disso, essa tecnologia possibilita obter análises de dados compilados e de fácil visualização.”
Entrevistado II	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado III	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.
Entrevistado IV	O entrevistado mantém a resposta da Etapa 1.

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Uso de tecnologia e ferramentas afim de incorporar conceitos circulares na indústria da construção civil?
Entrevistado I	“Para se alcançar o modelo de economia circular é preciso ter informações sobre os materiais e num nicho como a construção civil, onde os produtos são, na maioria das vezes, complexos e feitos para durar décadas, vejo que o uso de tecnologias e ferramentas podem colaborar e muito, não só no armazenamento como também na análise dessas informações.”
Entrevistado II	“Acho fundamental desenvolvermos tecnologias e novas ferramentas para incorporar a circularidade na indústria da construção. Porém só enxergo de fato a viabilidade dessas ferramentas dentro das empresas se antes houver um amplo trabalho de conscientização e educação ambiental dos agentes atuantes. Mais que isso, acho muito necessário uma pressão externa, seja do próprio mercado ou agentes governamentais e normativos de incorporar a circularidade na indústria da construção. Precisa fazer sentido a circularidade para cada empresa, cada negócio e cada instituição envolvida dentro desta indústria, se não, dificilmente será investido tempo e recursos financeiros nessas tecnologias e ferramentas. A circularidade só existe se houver um ciclo fechado completo. A economia circular não funciona se apenas alguns atores pontuais tiverem o conhecimento e a tecnologia necessária, todos precisam entender a importância e todos precisam participar para que a cadeia seja, de fato, circular.”
Entrevistado III	“Acho que uma tecnologia que poderia ser bem adotada para efeito de EC dos materiais da construção civil seria a coordenação modular, que de certa forma eu considero ferramenta tecnológica. O bloco de concreto tem coordenação modular. O bloco de concreto tem 9cmx19cmx39cm. Ele tem essa medida para ser múltiplo de 10 com argamassa. Se ele não fosse colado com argamassa, poderia ser reutilizado. O conceito de coordenação modular é interessante para várias coisas. Uma porta de 70cmx210cm, caso tivesse um modelo que fosse padrão em coordenação modular, poderia ser reutilizada em múltiplos lugares, retirar e reinstalar em novas edificações. Este tipo de ferramenta é muito carente mesmo existindo norma para isso. Até mesmo em tubulações de PVC, com normatização, existem fabricas que estão utilizando o limite do que se pode ter como erro grosseiro numa bitola e, então, as bitolas de outras marcas já não casam umas com as outras. Com este tipo de comportamento do mercado fica difícil de vender e a consequência disso é que a gente não consegue dar volume na EC. A situação é complexa porque não envolve apenas uma solução, envolve defesas mercadológicas de cada estratégia de empresas. Qualquer proposta de solução vai ser simplista e não vai abraçar todos os parâmetros que precisam ser entendidos para dar uma solução para isso. Sobre o exemplo dos tubos de PVC, não que estejam fazendo algo errado, porque existe tolerância milimétrica de erro. No entanto, esta tolerância é abusada e produzem produtos diferentes. Existem mais de uma marca, fazem reserva de mercado e não deixa a vantagem da EC existir. Problema sério de capitalismo dentro do processo.”

Entrevistado IV

“Acho que sem tecnologia e ferramentas a implementação de conceitos de circularidade é muito mais complicada. Apesar de a concepção ser primeiramente numa forma de pensar diferente da forma como se faz a construção, posteriormente é preciso implementar isso através de metodologias e técnicas específicas. E aí dentro disso a tecnologia se faz extremamente necessária para o processo.”

FONTE: A autora (2023).

O que você entende por...	... Uso de tecnologia BIM afim de conceitos circulares na indústria da construção civil?
Entrevistado I	“Vejo que a tecnologia BIM tem muito a contribuir com a implementação da economia circular na indústria da construção civil. Penso isso, principalmente, por se tratar de uma ferramenta que já possui o objetivo de reter e organizar informações importantes de todas as etapas de uma edificação (desde projeto até a fase <i>as built</i>). Dessa forma, pensando no passaporte de materiais, por exemplo, o uso do BIM pode colaborar como sendo uma base de dados ou até mesmo na análise dessas informações.”
Entrevistado II	“Vejo a tecnologia BIM como uma ótima forma de começar esse processo de incorporar a circularidade. O BIM nos oferece uma gama infinita de possibilidades e ferramentas capazes de atrelar conceitos de circularidade durante as fases que inclui projetar e planejar a construção, sua operação e desconstrução. Porém não vejo muito como o BIM pode ser usado nas etapas posteriores, que envolvem, principalmente o processamento e reciclagem de materiais.”
Entrevistado III	“Eu tenho dentro da minha empresa um chassi que é projetado em BIM e é usado em todas as edificações. Um chassi estrutural que vai compor um sanitário, pode ser alterado para um escritório porque utiliza a mesma estrutura e consequentemente consegue colocar diferentes roupagens nessa estrutura. Pensando dessa maneira, o BIM é um grande potencializador desse tipo de solução. Ele permite que faça essa virada de chave de maneira tranquila para organizar essas informações. Ajuda bastante na gestão, porque é preciso ter precisão e o BIM é uma ótima ferramenta para isso.”
Entrevistado IV	“O BIM na minha visão é sempre um potencializador, um catalisador que faz com que a gente consiga atingir resultados dentro da construção civil seja qual for o processo que esteja em parte. Dessa forma, a circularidade na construção entre nesse caminho, onde o BIM não é essencial, mas com certeza permite um avanço muito melhor e mais rápido desses projetos. Isso porque, a parte essencial do BIM, que é a informação, é um fator essencial para adquirir os conceitos de economia circular dentro da edificação. Dessa forma então, a utilização de metodologia e ferramentas BIM com certeza agrega nesse processo e permite uma utilização mais plena dos conceitos a serem implementados.”

FONTE: A autora (2023).

Sobre o artefato em si...	... É possível identificar, a partir da sua prática profissional, como a abordagem apresentada pode melhorar a sustentabilidade dos projetos e construções?
Entrevistado I	“Creio que uma forma é usando a base de dados gerada pelo método, com informações sobre os materiais, para a escolha de quais materiais serão utilizados em um projeto que tem o intuito de ser sustentável. Dessa forma, pode-se selecionar materiais a serem utilizados de forma mais consciente.”
Entrevistado II	“Na teoria sim. Com certeza o artefato traz grande benefício e facilidade em avaliar a sustentabilidade de materiais a serem utilizados. Porém a sustentabilidade em projetos e construções não envolve apenas os materiais, mas também condições de conforto e eficiência energética, desempenho de sistemas, impacto urbanístico e social no local em que será construído, otimização de recursos e mão-obra, viabilidade econômica, entre outros. Portanto sim, o artefato pode contribuir para melhorar, mas apenas em um espectro da sustentabilidade.”
Entrevistado III	“Particularmente acho que tem pouca chance de funcionamento, porque quando estamos desenvolvendo um projeto o mercado diz que o prazo é curto bem como o recurso, então pode-se consumir poucas horas técnicas em cima de cada projeto. Se você estende essas horas, não fica competitivo e acaba não vendendo o serviço. Com o pouco tempo e recurso financeiro, eu acredito que incluir um volume enorme de informações - que na verdade vai gerar um projeto com base nisso, para depois avaliar a energia embutida e chegar à conclusão que está pouco sustentável e vai precisar refazer para encontrar uma solução mais sustentável - é pouco provável. Os contratantes esperam que você forneça a informação pra eles e, quando se trata de edificações grandes, existe o <i>GreenWashing</i> e essas empresas (ou pessoas) não querem gastar/desperdiçar com práticas que realmente possam ser sustentáveis. Isso se limita a painel solar, reuso de água da chuva, entre outros. Raramente vemos clientes que buscam soluções realmente impactantes em termos de sustentabilidade e que vão ter impacto no preço da obra. Isso normalmente fica em segundo, terceiro plano ou nem entra na discussão do contrato. Tem pouca chance de viabilidade num curto prazo, a não ser que outras ferramentas deixem isso bem mais simples. Exemplo: a rotina do Dynamo é complexa. Eu não enxergo implantando este tipo de rotina porque demanda tempo da equipe técnica.”

Entrevistado IV

“Acredito que sim. Principalmente porque estamos falando de formas de se trazer mais dados sobre o que estamos construindo, o que permite tomadas de decisões melhores. E essas decisões, podem levar a processos e projetos mais sustentáveis. Entretanto, o artefato esbarra numa questão importante a ser discutida, que é de onde virão esses dados. Então, dentro de uma prática tradicional de projeto (que é a minha área), espera-se que esses dados estejam acessíveis de alguma forma, para que possam ser implementados dentro do projeto. Dessa forma, mas do que o COMO colocar esses dados no projeto, o que precisamos é saber QUAIS e de ONDE virão esses dados, pois aí sim teremos condições de tomar melhores decisões.”

FONTE: A autora (2023).

Sobre o artefato em si...	... É possível identificar, a partir da sua prática profissional, como a abordagem apresentada pode melhorar a circularidade dos projetos e construções?
Entrevistado I	“Sim, pois a abordagem tem como objetivo criar uma base de dados com as informações relevantes dos materiais utilizados no projeto e a quantificação dos impactos de cada material utilizado, colaborando assim, que as etapas da economia circular. Além disso, essa base de dados pode colaborar com a destinação mais assertiva dos materiais após seus usos, evitando, assim, o desperdício e descarte deles.”
Entrevistado II	“Com certeza o artefato permite facilitar a tomada de decisão em termos de circularidade durante a concepção do projeto, mas sem uma base de dados e sem passaporte de materiais disponíveis no mercado brasileiro, fica muito difícil avaliar e quantificar o quanto o artefato traz de melhora e otimização na prática.”
Entrevistado III	“A prática apresentada só tem condição de entrar no mercado, e também a prática de circularidade, somente se tiver uma ferramenta online, gratuita, simples de ser usada, que basicamente todo o mercado vai absorver e incorporar por necessidade do mercado e não que a ferramenta tente empurrar para o mercado. Um exemplo simples é o <i>WhatsApp</i> . Todo mundo quer utilizar o <i>WhatsApp</i> e não precisa de anúncio da ferramenta, todos os dias entram novos usuários na plataforma. Se o PM conseguir ser uma ferramenta que o mercado quer consumir, de forma gratuita, acredito que o mercado vai colocar de maneira voluntária pra dentro e tem chance de funcionar. Se for algo um pouco diferente disso, como mensalidade ou exigir recurso de produto para processar lá dentro, acredito que tem pouca chance de sucesso. As empresas que forem desenvolver isso terão que simplificar o PM enormemente e isso é muito complexo. Simplificar um volume enorme de informação não é nada fácil.”
Entrevistado IV	“Essa resposta é complementar a anterior. Na minha concepção circularidade está diretamente relacionada a sustentabilidade, então a mesma ideia serve para as duas coisas.”

FONTE: A autora (2023).

Sobre o artefato em si...	... Consegue identificar falhas e/ou defeitos no recurso?
Entrevistado I	“Vejo que a necessidade de preenchimento manual das informações sobre os materiais e a dificuldade em encontrá-las podem ser fatores que desmotivem o uso do artefato. Além disso, os conceitos de cada parâmetro acabam sendo bem específicos e o fato de não serem de conhecimento da maioria dos profissionais do mercado pode, também, criar uma certa resistência dos profissionais na sua utilização.”
Entrevistado II	“Não consigo ver falhas no recurso em si, e sim no sistema como um todo. É fundamental que haja passaportes de materiais, EPDs, base de dados com inventários ou qualquer informação minimamente tratada e verificada, para grande parte de materiais de construção utilizados e comercializados no Brasil para que o recurso possa ser utilizado na prática e permita a comparação e tomada de decisão durante o projeto.”
Entrevistado III	“Não vou falar que é uma falha porque é uma característica, mas o PM é complexo e exige muito tempo para que você possa fazer uso disso/dessas informações e compilar todos os dados. E essa característica, pelo perfil dos usuários e do mercado, não encaixa no dia a dia da construção civil. Não existe recurso sobrando para dedicar tempo a informações como energia embutida via PM dentro de um leque de três mil tipos diferentes de materiais. Quem vai controlar tudo isso? Uma obra tem o engenheiro, o mestre de obras, almoxarife e o recurso dentro da obra já esgotou. Hoje na construtora temos 15 projetos em orçamentação, se cada projeto tiver que colocar este volume enorme de informações do PM, com certeza não teríamos condições de entregar nenhum dos orçamentos. O volume de tempo não casa com as características do mercado. Não é um defeito, é a maneira como ele funciona.”
Entrevistado IV	“Na aplicação direta do recurso, não. Isso em relação a aplicação do Dynamo com o Revit para a inserção desses dados nos materiais escolhidas. A “falha” que enxergo aqui, novamente, é em relação a busca desses dados. Não é uma falha no artefato, no foco da pesquisa, mas é um fator determinante, que define a aderência ou não do que foi feito na prática profissional.”

FONTE: A autora (2023).

Sobre o artefato em si...	... É possível inserir o artefato apresentado na prática projetual de edificações com o objetivo de torná-las mais sustentáveis?
Entrevistado I	“A ideia do método é justamente criar uma base de dados dos materiais usados em um projeto com informações técnicas de sustentabilidade sobre esses materiais. Dessa forma, o uso do método e a criação dessa base de dados já é, por si só, uma forma de contribuir para a criação de edificações mais sustentáveis. Dessa forma, sim, é possível. No entanto, creio que o fato de possuir etapas manuais e conceitos muitos específicos, pode dificultar a operacionalidade e adesão do sistema.” “No momento não vejo a viabilidade de colocar o artefato em prática, principalmente por falta de dados e informações dos materiais. Outra questão que acho importante citar é que por mais que haja ferramentas que facilitem as decisões de projetos para materiais e solução mais sustentáveis, o que geralmente pesa nas definições é o custo. Ou seja, o cliente final, quem vai arcar com os custos e pagar a construção precisa também enxergar as vantagens e benefícios da economia circular para que ferramentas deste tipo possam ser as responsáveis pela tomada de decisão. Sendo assim, por enquanto faz bastante sentido o uso do artefato em projetos que precisam comprovar parâmetros de sustentabilidade, como por exemplo, construções que pleiteiam certificações como LEED, AQUA, BREAM outros.”
Entrevistado III	“Acredito que possível é, mas não é prático. Dá para fazer, mas vai ter muita dificuldade de achar um projeto real querendo utilizar isso. A não ser que queira que o projeto tenha o objetivo de ser o mais sustentável do mundo. Como a sustentabilidade passa a ser o principal parâmetro, e não mais a funcionalidade para o usuário e o recurso, pode ser que se consiga.”
Entrevistado IV	“É possível inserir sim na prática de projetos, mas falta aí algumas coisas previamente. Uma delas, já falados em outras respostas, é a base de dados. Ou seja, de onde virão esses dados para serem inseridos nos materiais para que assim, seja possível utilizar isso com alguma eficácia. Outra coisa que falta, é definir o fluxo disso dentro do processo de projeto. Em que momento, que etapa do projeto isso seria feito? Por qual profissional? Quais critérios servem para definir o que é melhor, o que é pior, o que é melhor para ser levado em consideração. Então todo esse mapeamento de como, quem e o que vai ser inserido é uma base primordial para aí sim conseguir tornar factível a utilização disso dentro da prática do profissional.”

FONTE: A autora (2023).

Sobre o artefato em si...	... É possível inserir o artefato apresentado na prática projetual de edificação com o objetivo de se obter uma base de dados de materiais?
Entrevistado I	“Todo o método é idealizado para obter uma base de dados dos materiais utilizados em um projeto e apresentar essas informações de forma organizada e compilada. No entanto, creio que o fato de possuir etapas manuais e conceitos muitos específicos, pode dificultar a operacionalidade e adesão do sistema.” “Entendo que talvez o objetivo inicial deva ser primeiro obter uma base de dados confiável de materiais para depois poder inserir o uso do artefato, e não o oposto.” “Acho que não porque cada projeto é individualizado e querendo ou não se mudam muito os recursos. É mais fácil ter base externa e puxar para dentro do que pegar o projeto e se transformar em uma base de dados. Com as mudanças, a base de dados vai se perder. Uma obra em Curitiba não é a mesma obra no Nordeste. Os tipos de materiais e a reação dos materiais no ambiente vai ser distinta e se não fizer esta distinção, estará errado. É preciso realizar esta distinção e por isso não acredito que funcionaria utilizar um projeto como base de dados.” “Acho que a resposta anterior (10) contempla também essa questão. É possível, mas tem requisitos anteriores que precisam ser resolvidos para que isso possa acontecer.”
Entrevistado II	
Entrevistado III	
Entrevistado IV	

FONTE: A autora (2023).

Sobre o artefato em si...	... Como este método pode melhorar a prática projetual de edificações?
Entrevistado I	“Creio que as informações a serem preenchidas no método proposto possam colaborar na concepção de projetos se esses tiverem o objetivo explícito de melhorar a sustentabilidade e circularidade dos projetos e construções. Isso se dá, principalmente, porque os parâmetros obtidos no método são totalmente técnicos dessa área. No entanto, pensando em utilizar o método como uma forma de compilar e armazenar outras informações além das propostas pelo artefato, como por exemplo fabricantes, resistências dos materiais etc., creio que possa ser útil em todas as edificações.”
Entrevistado II	“O método pode contribuir quando for necessário comparar duas ou mais opções de materiais a serem aplicados e especificados no projeto. A partir de uma análise do objetivo do empreendimento e de qual quesito de sustentabilidade é mais significativo em cada caso, é possível avaliar quais opções são mais sustentáveis e geram menos impactos ambientais e de saúde, facilitando assim a escolha. Com essa análise facilitada, que permite que todos os dados e informações já estejam dentro do <i>software</i> BIM de projeto, facilitaria também a comprovação e justificativa das decisões de projetos para outras partes interessadas.”
Entrevistado III	“Acredito que não melhora, porque na maneira como está ele atrapalha. É um volume enorme de informações que serão pouco valorizadas num contexto comercial. O mercado não vai pagar esta diferença de recurso gasto para uso destas informações. Por tanto, ele não ajuda no desenvolvimento projetual hoje. Se for criado o mecanismo que agilize tudo, como soluções de TI, e que traga os dados embutidos nas famílias do Revit, por exemplo, o projetista não tem trabalho de compilar tudo. Um plugin que faça a compilação, pode ser que ajude, mas não acredito que exista isso hoje e precisaria fazer manualmente, o que atrapalha.”
Entrevistado IV	“A partir do momento que essas questões levantadas tenham uma resposta, com certeza a prática de projeto se torna muito mais robusta, mais comprometida e mais profissional mesmo. Toda análise que a gente consiga fazer no projeto virtual, a fim de tornar a construção efetivamente mais circular ou mais sustentável, tem um ganho muito grande. Acredito que o maior ganho seria na compreensão melhor dos materiais e dos métodos construtivos que estamos empregando na hora de fazer as escolhas de projeto. Então, escolhas que hoje são feitas muitas vezes de maneira aleatória, podem ser muito mais embasadas e com argumentos provando que é a melhor solução a ser tomada naquele determinado caso.”

FONTE: A autora (2023).

ETAPA 3

Sugestões de melhoria para o sistema apresentado?	
Entrevistado I	“Torná-lo o mais automático possível com certeza é algo que pode ajudar na adesão dos profissionais ao uso do método. Por exemplo, criar alguma forma de preencher as informações necessárias de cada material de forma automatizada (e não manual). Além disso, usar bases de dados que sejam mais realistas com as regiões de aplicação dos projetos iria contribuir na credibilidade e usabilidade do sistema. Também acredito que seja necessário iniciativas de conscientização dos profissionais sobre os conceitos que englobam e que, de alguma forma, justificam o uso do método, reforçando a urgência, importância e consequências da implementação dessas ferramentas para atingir esses objetivos.”
Entrevistado II	“Não tenho sugestão de melhorias do artefato em si, mas sim da parte da ferramenta tecnológica que poderia ser melhor adaptada talvez em formato de API ou Plugin para facilitar a usabilidade por pessoas sem conhecimento em Dynamo, favorecendo e despertando o interesse no uso da ferramenta por mais pessoas.”
Entrevistado III	“Sugestão de simplificar. Deixar simples. Enquanto não for simples está fadado a não funcionar. Eu tenho uma base que é o nome do material, um código da empresa e a unidade de medida que se compra do material. Como exemplo a tinta: compra-se em litro e aplica-se em m²; as opções são látex PVA, brilho, fosco; são inúmeros tipos de uso, marca, cor, unidade, embalagem. São pelo menos 10 parâmetros para comprar uma tinta. Ao final, ainda precisar incluir 50 parâmetros. Se mudar a cor, as características desses parâmetros também vão mudar, isso gera um volume de informações e dados que na teoria não funciona. O cliente simplesmente não gostou da cor e mandou mudar. Enquanto tiver este tipo de situação real e não existir uma solução prática e simples e fácil de conversão, ele não vai colar.”
Entrevistado IV	“O sistema em si, Dynamo + Revit, não tenho sugestões. Funciona bem e cumpre o que foi determinado a fazer. As sugestões são de melhoria no método mesmo de aplicação, levando em consideração os outros aspectos que abrangem a utilização do artefato.”

FONTE: A autora (2023).

Consegue identificar, a partir do recurso apresentado, práticas profissionais que podem ser inseridas na sua rotina para promover construções mais sustentáveis e/ou circulares?	
Entrevistado I	“Os conceitos associados ao artefato são extremamente importantes e necessários, mas realmente acabam passando despercebidos no dia a dia dos profissionais da área (inclusive eu). Creio que o simples fato de ter sido apresentada a esses conceitos e saber que existe uma gama de estudos, discussões, ferramentas e soluções que possuem o objetivo de eliminar (ou, de forma mais realista, amenizar) os problemas de resíduos causados pela construção civil, com certeza, me fazem pensar em maneiras de implementar novas práticas que colaborem com esse propósito. Agora, conhecendo melhor os conceitos e impactos da sustentabilidade, por exemplo, até a minha forma de olhar um projeto passou a ser diferente. Agora os vejo como uma oportunidade de buscar a preservação da natureza, atendendo às necessidades propostas pelo projeto e até mesmo potencializando os resultados esperados. Além disso, conhecer mais sobre a economia circular me faz pensar em algumas práticas como: priorizar a destinação correta dos resíduos, buscando empresas parceiras que tem como real objetivo o reaproveitamento dos materiais; buscar novos materiais sustentáveis no mercado para aplicar em meus projetos, com o objetivo de substituir os que mais impactam negativamente a natureza, por exemplo; ser ainda mais assertiva no planejamento dos projetos, afim de gerar quantitativos de materiais ainda mais exatos, evitando o desperdício; estudar e conhecer ainda mais sobre a economia circular e sustentabilidade.”
Entrevistado II	“Na minha prática profissional estou sempre buscando novas formas de tornar os projetos e construções mais sustentáveis e vejo que o fundamental mesmo é o trabalho de “educar” as pessoas da importância da sustentabilidade e explicar o porquê de cada decisão de projeto. Sendo assim, este recurso é mais uma opção para mostrar e justificar algumas estratégias de projeto, não só para os projetistas, mas também para todos os envolvidos no processo.”
Entrevistado III	“Não consigo identificar na minha rotina porque não vejo chance de implantação. Não cogito e nem pretendo colocar como sugestão pois acho inviável.”
Entrevistado IV	“A princípio não consigo identificar nada além do que foi sugerido.”

FONTE: A autora (2023).

Outros comentários.	
Entrevistado I	“Hoje, tem-se falado cada vez mais sobre a necessidade, importância e benefícios que as edificações sustentáveis têm no bem-estar não só de quem usufrui da edificação, mas do planeta como um todo. Porém, sabe-se também que estamos longe de atingir o cenário ideal, inclusive até nos métodos aplicados dentro das universidades acabam não levando tão afinho essas questões. Considerando, então, que a maioria dos profissionais da área atuantes no mercado ainda se utilizam de métodos “convencionais” na elaboração de projetos e edificações, qualquer mudança proposta nesse cenário tão consolidado pode ser de difícil aceitação, mesmo se tratando de assuntos extremamente relevantes. A meu ver, para que a implementação de novas práticas tenha sucesso e adesão ela precisa ter um impacto financeiro, seja beneficiando quem implemente ou penalizando quem não o fizer. Além disso, creio que as novas metodologias precisam ter formas práticas e eficientes de aplicação. Levando em conta que a regulamentação foge da alçada de atuação desse estudo, creio que se deva investir em formas de tornar o sistema mais prático e acessível, como desenvolver uma forma de preenchimento automáticos (e não manual) dos parâmetros necessários além de priorizar encontrar bancos de dados onde esses parâmetros possam ser encontrados com valores condizentes com a realidade do mercado brasileiro.”
Entrevistado II	“O recurso desenvolvido é bastante completo e consegue englobar a análise de forma automatizada de uma grande quantidade de parâmetros de sustentabilidade. Isso é uma grande vantagem, visto que muitas vezes ficamos limitados a observar poucos parâmetros, o que prejudica uma avaliação ampla a respeito da sustentabilidade e dos reais impactos causados pela indústria. Infelizmente, a falta de disponibilidade de dados e informações sobre materiais por parte de seus fabricantes e fornecedores, impossibilita a ampla utilização deste recurso na prática.”
Entrevistado III	“A academia precisa deixar de glorificar certos assuntos, entender melhor como o mercado reage para trazer mais soluções palpáveis e práticas que possam ter uma real utilidade. Desenvolver edificações mais sustentáveis para o mercado está limitado a pequenas ações, não muito relacionado a engenharia de materiais, então trazer este tipo de ciência de uma maneira mais palatável pro mercado é importante. No entanto, hoje infelizmente não está acontecendo. A academia, como sugestão, teria que desenvolver práticas que possam deixar isso mais simples de serem consumidas. Da forma como está não funciona.”
Entrevistado IV	“Parabéns pelo trabalho. Na minha visão, o maior ganho dele foi justamente mostrar a série de lacunas que precisam ser resolvidas para que efetivamente comece a ser possível uma utilização do passaporte de materiais de maneira descomplicada na prática do dia a dia das equipes que integram o ciclo de vida das edificações.”

FONTE: A autora (2023).

ANEXO 1 – PASSAPORTE DE MATERIAIS CIRCULAR DA ASSOCIAÇÃO SMART WASTE PORTUGAL

CIRCULAR Buildings CIRCULAR MATERIAL PASSPORT	
Financed by: Iceland, Liechtenstein, Norway grants Programme operator: REPÚBLICA PORTUGUESA Promotor: PORTO Partners: 3drivers PORTO P	
PASSPORT NUMBER CMP # 1	
GENERAL DATA	
1. PRODUCT NAME	
2. PRODUCT CATEGORY	Please, classify the product into a particular category of building products by selecting the best option for each Tier 2.1. Tier 1 Core 2.2. Tier 2 In-built lighting system 2.3. Tier 3 Control systems and sensors
3. FUNCTION	Please, describe the function of your product or the components of your product (e.g., product or component of HVAC system in the building project)
CMP # 1	
4. MANUFACTURER	
5. DATA SOURCE	☐ Manufacturer's specifications ☐ Other Data Source If you have another data source, please write it down in the open fields below 1. 2. 3.
USE AND LOCATION	
6. BUILDING IDENTIFICATION	6.1. Name/Building number 6.2. Address 6.3. Building type Existing building
7. INSTALLATION DATE	7.1. Year
CMP # 1	
8. LOCATION	Please, provide the specific location of the product within the building (e.g., which floor, side of the building, etc.)
9. EXPECTED SERVICE LIFESPAN	Please provide the expected lifespan of your product, if you don't have a specific value, please check the Typical Service Lifespan box and the value of your product service lifespan will be generated 9.1. Expected lifespan (years) ☐ 9.2. Typical Service Lifespan (years)
10. MAINTENANCE	Please, provide the best maintenance practices for the product with the aim to extend its service lifetime
11. EXPECTED END-OF-LIFE	Please, provide the expected end-of-life of your product in order to estimate the year of your product replacement

CIRCULARITY POTENTIAL

12. DESIGN FOR DISASSEMBLY
Please, characterize the design for disassembly by choosing the design for disassembly categories of your product.

For further explanation, please check the chapter 3.5.1 in the Guideline for creating Circular Materials Passports

12.1. Type of connection Dry connection

12.1.1 Sub-type of connection

12.2. Type of connection accessibility Freely accessible

12.3. Type of crossings Modular zoning of objects

12.4. Type of form containment Open, no inclusions

12.5. Score for disassembly performance 1,0 It is possible to recover the product without damaging neither adjacent building components or components of the product

13. DISASSEMBLY INSTRUCTIONS
Please, provide additional information for the material or product disassembly at the end of life for quality assurance

Instructions to disassembly Product Demo #1

4

14. QUANTITY
Please, fill the fields that turned into dark grey with the quantity estimation for the product unit
Note 1: The dark grey fields are linked to the score for disassembly performance.

CMP # 1

	Product	Components				
		Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
14.1. Weight (kg)						

15. MATERIAL COMPOSITION
To estimate the % of the material composition, please, fill the fields that turned into dark grey.

Note 1: The dark grey fields are linked to the score for disassembly performance. If your product has less than 1 point, it is unlikely to know the component's material composition. In this case, it is important only to estimate the product composition (materials). But if your product has more than 2 points, it is easier to estimate the materials components composition.

In case of your product is composed with another material type, please indicate and estimates in the dark grey fields

	Product	Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
15.1. Concrete, brick (stone), tiles and ceramics						
15.2. Structural wood or other bio-based						
15.3. Glass						
15.4. Plastic						
15.5. Bituminous mixtures						
15.6. Metal						
15.7. Insulation materials						
15.8. Gypsum						
15.9. Mixture						
15.10.						
15.11.						
15.12.						
15.13.						
15.14.						
15.15. Total						

5

16. MATERIAL INPUT SOURCES
(Optional field)

Please, estimate the % of the following type of sources for your product or of its components (fill the fields that turned into dark grey).

CMP # 1

	Reused	Recycled	Biomass	Virgin	Total
16.1. Product					
16.2. Component 1					
16.3. Component 2					
16.4. Component 3					
16.5. Component 4					
16.6. Component 5					
16.7. Total					-



17. WASTE SCENARIOS
Please, choose the most likely waste scenario for your product or its components (choose the boxes that turned into dark grey)

CMP # 1

17.1. Product

17.2. Component 1

17.3. Component 2

17.4. Component 3

17.5. Component 4

17.6. Component 5



6



17. WASTE SCENARIOS
The following table will show the weight of your product per waste scenario

CMP # 1

Weight (kg)	Reuse	Recycling	Energy recovery	Backfilling or other	Landfill
Product					

7

8