

UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Drielly Pena Cesar

**GEOMETRIA PARA UM ARTEFATO DESMONTÁVEL PARA
CONSTRUÇÃO CIVIL, COM FUNÇÃO ESTRUTURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. José Luís Garcia Hermosilla
Orientador

Araraquara, SP – Brasil
2022

FICHA CATALOGRÁFICA

C414g Cesar, Drielly Pena

Geometria para um artefato desmontável para construção civil, com função estrutural/Drielly Pena Cesar. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2022.

84f.

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de

Produção – Universidade de Araraquara – UNIARA

Orientador: Prof. Dr. José Luís Garcia Herмосilla

1. Design para construção. 2. Design para manufatura e montagem.
3. Construção enxuta. 4. Construção pré-fabricada. 5. Conexão de coluna.
6. DFMA. 7. DFD. 8. Lean construction. 9. Economia solidária. I. Título

CDU 62-1

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CESAR, D. P. **Geometria para um artefato desmontável, para construção civil, com função estrutural**. 2022. 84 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Drielly Pena Cesar

TÍTULO DO TRABALHO: Geometria para um artefato desmontável, para construção civil, com função estrutural de sustentação

Dissertação/ 2022

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede a Universidade de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.



Drielly Pena Cesar

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

Email (do autor): dpcesar@uniara.edu.br



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara — UNIARA — para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.


NOME DO AUTOR: **DRIELLY PENA CESAR**

TÍTULO DO TRABALHO:

dissertação intitulada **"GEOMETRIA PARA UM ARTEFATO DESMONTÁVEL PARA CONSTRUÇÃO CIVIL, COM FUNÇÃO ESTRUTURAL"**

Assinatura do(a) Examinador(a)

CoEtCgltO




Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Hermsilla (orientador(a))
Universidade de Araraquara - UNIARA

(X)Aprovado () Reprovado



Prof(a). Dr(a). Creusa Sayuri Tahara Amaral
Universidade de Araraquara - UNIARA


(X)Aprovado () Reprovado



Prof(a). Dr(a). Marcus Cesar Avezum A. de Castro
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial
e Meio Ambiente
Universidade de Araraquara - UNIARA

(X)Aprovado () Reprovado

Versão definitiva revisada pelo(a) orientador(a) em: 29 / 12 / 2022



Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Hermsilla(orientador(a))

AGRADECIMENTOS

Tudo que sei, sou e faço
Por mais que no descompasso
É uma colcha de retalho
Bordada em cada pedaço
Por aqueles que aqui detalho
Se esqueci de ti, perdão de antepasso

Primeiro agradeço a Deus por tudo que acontece na minha vida e por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho.

Agradeço aos membros da banca por dedicarem tempo para me ajudar nessa jornada, Profa. Dra. Creusa Sayuri Tahara Amaral, Prof. Dr. Sérgio Takahashi (da qualificação) e o Prof. Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro (que aceitou participar da minha banca de defesa);

Agradeço ao meu orientador, José Luís Garcia Hermosilla, que foi a luz para que eu entrasse nesse programa de mestrado, que me incentivou e incentiva a não desistir e a encontrar soluções onde parece existir apenas problemas, obrigada pela paciência e por não desistir de mim.

Agradeço a Flavia por começar essas pesquisas e me ajudar nos momentos difíceis;

Agradeço aos meus colegas de mestrado Claudia e Fábio pelas conversas, apoio e ajuda nos momentos de dificuldades e pela amizade que fizemos;

Agradeço ao Erisson por ter me ajudado a conseguir meu emprego atual e pela sua amizade;

Agradeço as minhas colegas atuais de trabalho do escritório Carol Algodoal. A Carol por ser uma pessoa que gosta de ensinar e me dar oportunidade de trabalhar na área em que formei, por proporcionar conhecer pessoas incríveis como a Thiago, a Luiza a Luciene, que compartilham seus conhecimentos, e minhas colegas de trabalho Ana e Ingrid pelo apoio, amizade e ajuda.

Agradeço a minha psicóloga Fabiana, por me ajudar nos momentos de ansiedade, e por ser uma pessoa maravilhosa.

Agradeço a todas as pessoas que já passaram pela minha vida, que são presentes nela e aos que ainda vão passar, pois, fazem parte da minha história (Professores da alfabetização ao colegial, meus professores da faculdade, meus professores do mestrado (em especial ao professor Prof. Dr. Jose Camilo Barbosa) a Luciana, que sempre foi muito prestativa com relação as questões do programa de mestrado.

Agradeço aos meus amigos Makimoto, Thuana, Gui, Amanda, Pamela, Gabi, Valdir, a Bisa Con, a Vó Eliana, Vô Katian, Vô Rosa, Vô Davi, Tia BI, Tio Fer, Tia Lu, Lucas, Maria Clara, Yasmin, anjinho Luis, Idelmo e meu amigo Leo, por toda durante as pesquisas);

Agradeço aos meus amigos e antigos colegas de trabalho do Drogão Super por me ajudarem no primeiro ano de mestrado (Helba, Besoura Solange, Telma, Priscila, Karina, Karol, Eliana, Ana, Joyce, Hubert, Jéssica e outros mais).

Acima de tudo agradeço as minhas duas famílias que amo incondicionalmente.

A primeira é a minha amada e guerreira mãe, que é o alicerce da minha casa, como chefe da família, assumindo o papel de pai e mãe, aos meus amados irmãos Marcos, Lucas e Elisy cujas felicidades são primordiais para minha vida, a minha amada Avó Cida, por ser uma segunda mãe, meu tio Sharley, minha tia Silvana e minha priminha Clarinha. Obrigada pelo amor de vocês.

A Segunda é a família do meu amor, meu irmãozinho de coração Pedrinho (Shimelter) minha sogra-mãe Cris, meu sogro-pai Marlon e ao Matheus (Mr. N), que me apoiam e nunca me deixam desistir, que acreditam em mim, mesmo quando eu não acredito. Obrigada pelo amor de vocês.

“O sonho é que leva a gente para a frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado,
acomodado”.

Ariano Suassuna

RESUMO

A construção civil é uma das atividades econômicas que mais consomem recursos naturais e gera resíduos, e por esse motivo a adoção de conceitos e práticas enxutas (LC) tem se tornado uma ação premente neste segmento. O desenvolvimento de novos produtos construtivos com design para fabricação e montagem (DfMA) e com design para desmontagem (DfD) são exemplos de iniciativas que estão sendo adotadas em projetos e materializadas por meio da pré-fabricação de componentes. O presente trabalho apresentou como objetivo o desenvolvimento de uma geometria para um sistema de sustentação desmontável, que conectasse a um bloco pré-fabricado, já existente, sem o uso de argamassa. O processo de geração e depuração de ideias, por meio do método de pesquisa Design Science Research, resultou em um bloco, para ser utilizado como “pilar de canto”, com uma extremidade aberta e outra fechada e furos para passagem de uma haste, também desenvolvida nessa pesquisa. A haste apresenta conectores macho-fêmea alternados nas extremidades, de forma que possam ser rosqueáveis, para serem passadas nos furos dos blocos, possibilitando a sustentação do sistema. As principais contribuições destes artefatos foram: facilitar o processo construtivo, possibilitar o reaproveitamento dos componentes, diminuir a quantidade de uso de argamassa utilizada para conexão dos elementos, ter o controle da produção, além de diminuir o número de matérias primas utilizadas e descartadas, como as formas de madeira. Além disso, por meio da fase de investigação dos problemas, com o método de revisão bibliográfica aplicada na DSR, foi possível identificar dentro do horizonte de pesquisa de 2014 a 2021, 41 artigos, sendo sete de revisão da literatura, sobre aplicações do DfD na construção e o uso de conexões secas e semi secas entre os componentes.

Palavras-chave: Design para construção. Design para manufatura e montagem. Construção enxuta. Construção Pré-fabricada. Conexão de coluna. DfMA. DfD.

ABSTRACT

Civil construction is one of the economic activities that most consumes natural resources and generates waste, so the adoption of lean concepts and practices (LC) has become an urgent action in this segment. The development of new constructive products with design for manufacture and assembly (DfMA) and with design for disassembly (DfD) are examples of initiatives that are being adopted in projects and implemented through the prefabrication of components. The present work aimed to develop a geometry for a detachable support system, which would connect to an existing prefabricated block, without the use of mortar. The process of generating and purifying ideas, using the Design Science Research research method, resulted in a block, to be used as a “corner pillar”, with one end open and the other closed and holes for the passage of a rod, also developed in this research. The rod has male-female connectors alternated at the ends, so that they can be threaded, to be passed in the holes of the blocks, allowing the support of the system. The main contributions of these artifacts were to facilitate the construction process, enable the reuse of components, reduce the use of mortar used to connect the elements, have production control, in addition to reducing the number of raw materials used and discarded, such as the molds wooden. In addition, through the investigation phase of the problems, with the bibliographic review method applied in the DSR, it was possible to identify, in the research horizon from 2014 to 2021, 41 articles, seven of which were literature reviews, on applications of the DfD in construction and use of dry and semi-dry connections between components.

Keywords: *Design for construction. Design for manufacture and assembly. Lean construction. Prefabricated Constructio. Column connection. DfMA. DfD.*

Lista de Figuras

Figura 1- Síntese evolutiva do LC aos processos construtivos pré-fabricados.....	17
Figura 2- Estrutura de integração para o Design arquitetônico e suas conexões.....	22
Figura 3- Tipos de conexões para construções modulares.....	24
Figura 4-Síntese dos conceitos e fundamentos da Design Science Research.....	27
Figura 5- Principais elementos que compõem a Design Science Research.....	28
Figura 6-Etapas do Design Science Research.....	29
Figura 7-Funil de procedimentos das etapas 1 e 2.....	31
Figura 8-Foto de obra em execução.....	32
Figura 9-Foto de obra em execução (descarte das formas de madeira).....	33
Figura 10-Foto de obra em execução (quebra das paredes de alvenaria para passagem de conduítes).....	34
Figura 11-Rede bibliometria segunda combinação "Demountable Connection" OR "Building prefabricated" OR "design for disassembly".....	37
Figura 12- Rede bibliometria quarta combinação "Design for deconstruction" OR "modular connection" OR "Disassemblable Building".....	38
Figura 13-Prisma Workflow dos artigos incluídos na revisão.....	39
Figura 14-Processo de planejamento do produto.....	41
Figura 15-Braistorming do processo de desenvolvimento de produto.....	42
Figura 16-Esquemas de desenvolvimento de produto.....	43
Figura 17-Desenhos propostos.....	44
Figura 18-Impressão de protótipos para análise.....	44
Figura 19-Montagem do protótipo original impresso em 3D.....	47
Figura 20-Como empilhar os blocos? Ideia 1.....	48
Figura 21- Como empilhar os blocos? Ideia 2.....	49
Figura 22-Como empilhar os blocos? Ideia 3.....	50
Figura 23-Desenho 3D das hastes com conectores, trilho e fundação.....	51
Figura 24- Desenho 3D dos blocos e do sistema global.....	52

Lista de Quadros

Quadro 1- Protocolo para revisões sistemáticas.....	35
Quadro 2 -Tipos de Artefatos.....	40
Quadro 3-Métodos e geometrias construtivas novas.....	45
Quadro 3-Métodos e geometrias construtivas novas.....	46
Quadro 4-Métodos para avaliação dos artefatos.....	53
Quadro 5- Patentes de produtos existentes.....	54
Quadro 5- Patentes de produtos existentes.....	55
Quadro 5- Patentes de produtos existentes.....	56
Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação.....	74
Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação.....	75
Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação.....	76
Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação.....	77
Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação.....	77
Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação.....	78
Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação.....	79
Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação.....	80
Quadro 8- Conexões modulares segundo Rajanayagam et al. (2021).....	81
Quadro 8- Conexões modulares segundo Rajanayagam et al. (2021).....	82
Quadro 8- Conexões modulares segundo Rajanayagam et al. (2021).....	83
Quadro 9- Outras conexões encontradas durante a revisão.....	84
Quadro 9- Outras conexões encontradas durante a revisão.....	85

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABAG – Associação Brasileira do Agronegócio.

LC – *Lean Construction*

BIM – *Building Information Model*

BP – *Building Prefabricated*

DB- *Disassemblable Building*

DC – *Demountable Connection*

DfD1 – *Design for deconstruction*

DfD2 – *Design for disassembly*

DfMA – *Design for Manufacturing and assembly*

DSR – *Design Science Research*

EC – *Circular Economy*

IGLC – Grupo Internacional de Construção *Lean*

ISO – International Standard

LM – *Lean Manufacturing*

MC – Modular connection

P&S– *Planning and Scheduling*

RCC – Resíduos da Construção Civil

SCM– Sistemas de construções modulares

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Contextualização e problemática.....	12
1.2 Questão da Pesquisa.....	13
1.3 Objetivo.....	14
1.4 Justificativa.....	14
1.5 Aspectos Metodológicos.....	14
1.6 Estrutura do Texto.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Construção Enxuta: origem, definições e evolução.....	16
2.2 Design para fabricação e montagem (DfMA) e Design para desconstrução/ desmontagem (DfD): Origem, definições e aplicação no design de produtos.....	19
2.3 Produtos existentes para fins construtivos, com base em conexões desmontáveis.....	20
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Classificação Metodológica da Pesquisa.....	26
4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	30
4.1 Etapas 1 e 2 da DSR: Identificação e Conscientização do Problema.....	31
4.2 Etapas 3 e 4 do DSR: Revisão da Literatura e Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas da DSR: Revisão da Literatura.....	34
4.3 Etapas 5, 6 e 7 do DSR: Proposição de artefatos para resolver o problema específico e o desenvolvimento do artefato.....	39
4.3.1 Reuniões com a equipe, uso da ferramenta SketchUp para desenhos dos protótipos em 3D e impressão.....	42
4.4 Etapa 8 da DSR: Avaliação do artefato selecionado	
4.5 Etapas 9, 10, 11 e 12 do DSR: Comunicação dos resultados	59
5 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIOS COM RESPOSTAS DA PESQUISA RESPONDIDA PELO PÚBLICO GERAL.....	69
APÊNDICE B - RELAÇÃO DOS TRABALHOS IDENTIFICADOS NA REVISÃO DA LITERATURA NA SEGUNDA E QUARTA COMBINAÇÃO.....	74
APÊNDICE C - CONEXÕES IDENTIFICADAS NAS REVISÕES.....	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e problemática

O setor construtivo pode ser considerado um organismo dinâmico, pois é reflexo do sistema econômico e das interações sociais, a exemplo das empresas que sofrem reestruturações podendo aumentar ou diminuir seus espaços físicos de trabalho, assim como as famílias que se tornam menores ou maiores no decorrer dos anos, podendo demandar transformações no ambiente construtivo (MARZOUK; ELMARAGHY, 2021).

Essas mudanças no ambiente construtivo, como as reformas, reparos e demolições são geradores de resíduos da construção civil (RCC), além de aumentar a extração de matérias-primas não renováveis, devido ao ciclo linear da vida útil dos componentes tradicionais (BERTINO *et al.*, 2021, IPSEN *et al.*, 2021; KANTERS, 2018; IACOVIDOU; PURNELL, 2016; JAILLON; POON, 2014).

O instituto Ellen MacArthur Foundation (2019), confirma essa tendência na geração de resíduos e aponta que cerca de 40% dos resíduos sólidos urbanos, no mundo, são provenientes das atividades de construção da construção civil, e que a estimativa do consumo de materiais devido ao aumento da urbanização, passará de 40 bilhões de toneladas em 2010 para 90 bilhões de toneladas em 2050. Um agravante que se apresenta neste cenário é a característica dos processos construtivos tradicionais, principalmente aqueles que fazem uso de concreto e argamassa, e que por terem que se limitar ao comportamento monolítico da estrutura, inviabilizam o reaproveitamento dos componentes (KANTERS, 2018; XIAO; DING; ZHANG, 2017).

Diante disso, o emprego de novos sistemas construtivos, baseados nas melhorias de processos e em novos conceitos de gestão, vem transformando os processos tradicionais de construção, caracteristicamente mais artesanais, em processos mais industrializados, aproximando-os dos conceitos de linha de montagem das fábricas (BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2021).

Um exemplo desta transformação é a construção enxuta (*Lean Construction* – LC), adaptação da filosofia manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*-LM) à construção civil por Lauri Koskela em 1992, que tem como foco a valorização do produto e a redução dos desperdícios em toda a cadeia de suprimentos. A evolução da produção enxuta na construção civil levou ao desdobramento de novos conceitos como o Design para fabricação e montagem (DfMA) e o Design para desmontagem (DfD) (ABRISHAMI; MARTIN-DURAN, 2021; LANGSTON; ZHANG, 2021)

O DfMA surgiu no final dos anos de 1960 e começo de 1970, com intuito de garantir a segurança ao trabalhador, controle de qualidade, agilidade na entrega do projeto e minimização de resíduos no local por meio do off-site, através de dois estágios: projeto para fabricação (DfM), relacionado ao processo de fabricação dos componentes de forma individual; e o projeto para montagem (DfA), que envolve as formas de montar essas peças, manusear, e modificar de acordo com as necessidades (LANGSTON; ZHANG, 2021).

Já o DfD é um método cujo projeto inicial (design) deve ser concebido com a intenção de ser reutilizado, sendo assim, o conceito se baseia no uso eficiente de recursos, redução de desperdício e da variabilidade, por meio da desmontagem e reaproveitamento do produto em outro ciclo de vida (DING *et al.*, 2018; KANTERS, 2018; MACHADO; SOUZA; SOUZA, 2018; AKINADE *et al.*, 2015).

Contudo, o conceito da desconstrução também apresenta limitações, como o de custos elevados apontado em alguns estudos, fruto da recuperação de componentes, que demanda tempo e mão de obra qualificada, encarecendo os materiais recuperados/reciclados, tornando-os pouco competitivos frente aos materiais novos; outro aspecto a considerar seria a baixa demanda por esta tecnologia, em função da barreira cultural, além do grande número de stakeholders diversificados e à natureza complexa dos projetos. (CHEN; FENG; SOTO; 2022; CHAREF; MOREL; RAKHSHAN, 2021).

Para viabilizar o processo de desconstrução, por mais de um ciclo de vida, é preciso utilizar práticas da construção enxuta (LC) e do DfMA, como os componentes pré-fabricados com maior grau de precisão no design, e maior simplificação das conexões, para maior controle da qualidade, redução da quantidade de trabalho e aumento da rapidez na montagem e desmontagem do sistema construtivo, sem a necessidade de procedimentos para recuperá-los (LANGSTON; ZHANG, 2021; XING *et al.*, 2021; EBERHARDT *et al.*, 2020; RUZ RIOS; GRAU; CHONG, 2019; MACHADO; SOUZA; SOUZA, 2018). Iniciativas dentro deste escopo são consideradas importantes no que se refere ao atendimento dos desafios da baixa produtividade e desperdícios no setor da construção civil, reduzindo seus impactos ambientais.

1.2 Questão da Pesquisa

Qual a geometria (Design) para um artefato que tenha função de sustentação para construção de paredes de blocos de vedação?

1.3 Objetivo

Desenvolver uma geometria para um bloco de sustentação com conexões que não necessitem de argamassa para fixação, com intuito de deixar o sistema construtivo desmontável e evitar desperdícios e resíduos de construção civil.

1.4 Justificativa

Devido à predominância do sistema construtivo no Brasil ser caracterizado como artesanal com a alvenaria convencional, a maior proporção de material encontrado no RCC é a argamassa (63%), principalmente a argamassa de concreto para estruturas, seguida por concreto e blocos (29%), orgânico (1%) e outros (7%) (SINIR+, 2022). Este quadro tem pressionado por mudanças nos processos, a começar pela fase de desenvolvimento de novos produtos a serem utilizados no setor.

A fase inicial de desenvolvimento do produto é a etapa de desenvolvimento considerada a de maior domínio sobre o funcionamento do produto, sobre suas formas de descarte ou de reutilização, uma vez que circunscreve nessa etapa o planejamento de montagem, o processo de fabricação, a identificação do uso pelo cliente e as formas de transporte, garantindo, desta forma, um potencial prolongamento do fim de seu ciclo de vida (GUNAWARDENA, T.; MENDIS, P., 2022; KOLUR et.al 2020; XU; LU, 2019).

Para reutilizar os componentes é necessário incorporar no sistema construtivo o uso de conectores, que podem ser realizados com diferentes técnicas, entretanto, para tornar mais eficiente o processo de desconstrução, o uso de ligações mecânicas secas (como parafusos ou buchas, encaixes tipo macho e fêmea) devem ser preferidas às químicas e/ou térmicas (por exemplo, juntas de concreto, ligação adesiva ou soldagem). A função realizada pelas conexões possibilita a união entre os elementos estruturais e não estruturais, e a transmissão de esforços entre os componentes de um sistema construtivo, possibilitando assim sua reutilização (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; BERTINO et al., 2021).

1.5 Aspectos Metodológicos

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, de natureza aplicada, com objetivo exploratório, com intuito de projetar, por meio dos princípios da Construção Enxuta (LC), do Design para fabricação e Montagem (DfMA) e o Design para desmontagem (DfD), um artefato com função estrutural para conectar, sem uso de argamassa, um bloco pré-fabricado concebido por Corvello (2020).

A metodologia de pesquisa adotada para dar cabo do objetivo da investigação foi o

Design Science Research (DSR), e foi estruturada nas seguintes fases: (i) a revisão da literatura; (ii) a coleta e análise de dados referentes às percepções dos envolvidos nos sistemas construtivos (usuários e profissionais da área), como as funcionalidades desejadas e possíveis limitações identificadas para sistemas construtivos, e o desenvolvimento e análise descritiva do artefato.

1.6 Estrutura do Texto

Esta dissertação se estrutura em cinco seções, são elas:

Na Seção 1 – Introdução – são apresentados os elementos introdutórios desta dissertação. Entre eles, os temas centrais no qual a dissertação busca se sustentar. Posteriormente são apresentados os problemas que estimularam o estudo, a questão de pesquisa bem como o objetivo do trabalho. Ainda nesta seção são apresentadas as justificativas da investigação e uma síntese dos aspectos metodológicos.

A seção – Consiste na revisão bibliográfica, subdividida em três subseções, sendo o referencial teórico sobre a Construção Enxuta, Design para fabricação, montagem e desmontagem, além da revisão da literatura sobre os produtos existentes, com ênfase nas conexões para fins construtivos e suas limitações.

A seção 3 – Metodologia de pesquisa – o detalhamento do *Design Science Research* e os procedimentos usados para o desenvolvimento do produto.

A seção 4 – Desenvolvimento do produto – será detalhado de acordo com a *Design Science Research* (DSR) em doze passos apresentando o desenvolvimento do artefato.

Na seção 5 – Conclusões com considerações finais, seguida pelas referências – será apresentado uma reflexão sobre a importância da pesquisa e lacunas a serem preenchidas por pesquisas futuras.

No apêndice A encontrasse questionários com respostas da pesquisa respondida pelo público geral.

No apêndice B encontra-se uma relação dos trabalhos identificados na revisão da literatura na segunda e quarta combinação

No apêndice C encontra-se um quadro, conexões identificadas nas revisões finais, seguida pelas referências.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

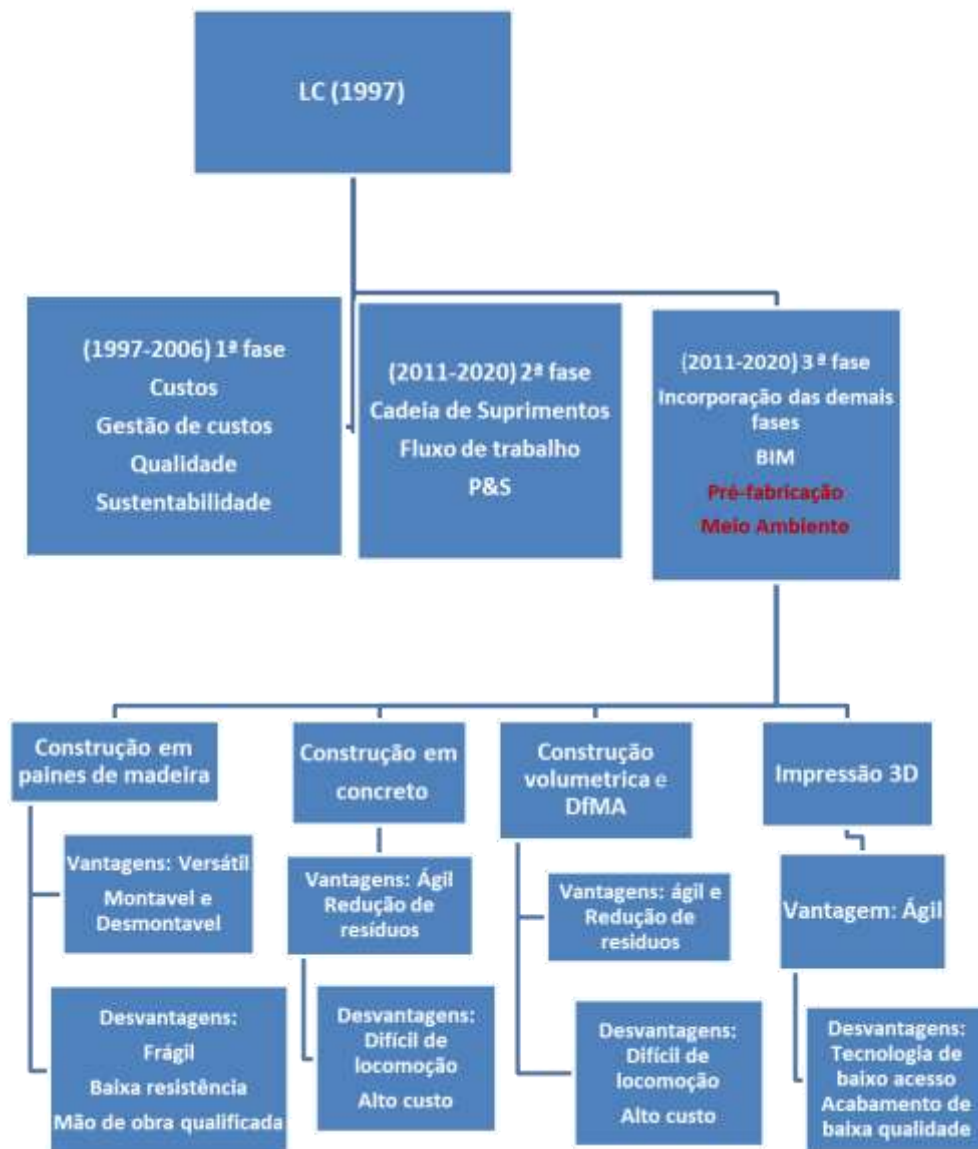
Esta seção trata especificamente do tema Construção Enxuta e suas particularidades, que suporta o referencial teórico da investigação, com destaque para os aspectos conceituais de design para fabricação e montagem (DfMA) e design para desmontagem (DfD). Essa seção apresenta também a revisão da literatura a respeito dos produtos existentes para fins construtivos, com função de conexão desmontável, e suas limitações.

2.1 Construção Enxuta: origem, definições e evolução

Os primeiros caminhos para a filosofia Enxuta começaram com Ohno e Shingo em fábricas de automóveis no Japão, após a Segunda Guerra Mundial (INNELLA; ARASHPOUR; BAI, 2019). Entretanto, a filosofia Lean só foi popularizada no final da década de 1980 com a publicação do livro de Womack, Jones, Roos (1990). Já o conceito de construção enxuta foi proposto por Koskela na década de 90, e em 1993 pesquisadores, que mais tarde fundaram o Grupo Internacional de Construção Lean (IGLC), começaram a abordar os conceitos da produção enxuta na indústria da construção (LI; FRANG; WU, 2020; SOLAIMANI; SEDIGHI 2020; KOSKELA et al., 2002; KOSKELA, 2000; KOSKELA, 1992).

O LC está associado ao gerenciamento do início à entrega do projeto, com base na melhoria contínua, a fim de reduzir a variabilidade, simplificar o processo, e eliminar desperdício (LI et al., 2018). Alguns autores classificam a evolução da Construção Enxuta em estágios (LI et al., 2018) como sumarizado no trabalho de Corvello et al. (2021) que estratifica o desenvolvimento em 3 períodos (figura 1): 1997 a 2006, período cuja preocupação se baseou no gerenciamento de custos, na gestão de qualidade e na sustentabilidade; de 2011 a 2020, período em que o foco se estendeu a gestão da cadeia de suprimentos, ao fluxo de trabalho e ao P&S (*Planning and Scheduling*), e de 2011 a 2020, período que desenvolveu e incorporou as tecnologias de pré-fabricação (englobando construção modular), da informação com o BIM (*Building Information Model*), da preocupação com o meio ambiente.

Figura 1- Síntese evolutiva do LC aos processos construtivos pré-fabricados.



Fonte: Corvello *et al.* (2021)

Com a utilização da construção industrializada por meio da construção modular e a pré-fabricação, a construção enxuta garante a produção de componentes em ambientes de melhor controle dos processos, reduzindo os defeitos do produto na fabricação e montagem, melhorando o planejamento do layout de um canteiro de obras, e eliminando esforços desnecessários e retrabalhos. A redução de desperdícios por meio de práticas de construção enxuta é uma importante estratégia para implementação da economia circular na construção, visando a reutilização de componentes e diminuindo o uso de conexões úmidas entre peças do sistema construtivo (BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2021).

2.2 Design para fabricação e montagem (DfMA) e Design para desconstrução/desmontagem (DfD): Origem, definições e aplicação no design de produtos

O Design para fabricação e montagem (DfMA) é um método com origem na manufatura, muito utilizado para produção de produtos automotivos, e contempla a simplificação do design para facilidade de fabricação e eficiência da montagem, com intuito de diminuir tempo e custo sem impactar na qualidade, principalmente para customização em massa (RIBA; 2021).

Para isso o DfMA se baseia na premissa de padronização, com repetição dos processos de design, materiais leves, camada de elementos e conectores ou juntas separáveis, a fim de estabelecer o nível correto do processo de montagem para que esse se torne o inverso da sequência para o processo de desmontagem (ROZENFELD et al., 2006; ARISYA; SURYANTINI, 2020).

Os princípios do Design para desmontagem (DfD) (recebe o nome também de design para desconstrução e reuso), também foram desenvolvidos para as áreas automotivas e eletrônicas, e recentemente passaram a ser aplicados na construção civil (AKINADE et al., 2019; PONGIGLIONE et al., 2021).

Dentro do processo do DfD existe duas categorias: (i) as relacionadas à adaptabilidade, ou seja, ocorre uma reciclagem do produto através de mudanças e/ou reformas no mesmo; (ii) e os princípios de reutilização, relacionados ao processo de desmontar componentes sem danificar para posterior remontagem em uma nova fase de utilização (AKINADE et al., 2015; KANTERS, 2018; INTERNATIONAL STANDARD (ISO), 2020).

Apesar de existir a capacidade de remanufatura na reciclagem dos materiais, alguns autores acreditam que a desconstrução, a fim de reutilizar o mesmo componente sem a necessidade de reparos/ reciclagem, apresenta maior eficiência nos aspectos econômicos e sustentáveis (AKINADE et al., 2019). Isso porque, segundo Kanters (2018) o processo de design para desconstrução, com intuito de reutilizar o mesmo componente, exige mais esforços e materiais elaborados, o que pode ocasionar maiores custos iniciais, entretanto nos próximos ciclos de vida esse custo será diluído.

Grande parte dos aspectos que influenciam na abordagem e desempenho do DfD enquadra-se na fase de design, na qual as estratégias são desenvolvidas e avaliadas com o intuito de garantir as mudanças necessárias para eficiência na fabricação dos componentes, apoiando dessa maneira os aspectos da economia circular (CE) de desenvolvimento sustentável (ABRISHAMI; MARTÍN-DURÁN, 2021; TONIOLO et al., 2021)

O DfD tem se apresentado como uma alternativa promissora para o processo construtivo, principalmente, por incorporar princípios da economia circular, no entanto, sua adoção ainda não é consenso no setor da construção civil (RAKHSHAN et al., 2020) principalmente, devido a barreiras econômicas (39%), sociais (15%) e técnicas (23%).

As barreiras econômicas se apresentam no processo de desconstrução, devido a falta de ferramentas que facilitem o processo e o planejamento do design, a avaliação e a classificação dos componentes, assim como o aumento dos custos com mão de obra e transporte dos elementos construtivos, fatos estes que concorrem para a elevação do custo total do processo. Além disso, os financiamentos para construções pouco convencionais são mais difíceis de se obter (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; KANTERS, 2020; RAKHSHAN et al., 2020).

As barreiras culturais estão atreladas a resistência dos usuários e construtores em usar tais técnicas de construção por não terem maturidade e convencimento suficiente a respeito da qualidade do material e da aparência visual dos componentes, aspectos estes que dificultam a inserção destes elementos no mercado (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; AKANBI et al., 2019; KANTERS, 2020; RAKHSHAN et al., 2020). Além do que, a maior parte das construções são concebidas com a ideia de que serão permanentes, ou que devem durar o maior tempo possível, assim torna-se raro a preocupação com a desconstrução (BERTINO et al., 2021).

As barreiras técnicas referem-se às limitações dos componentes do DfD que podem sofrer variações de acordo com aspectos geográficos e ecológicos de cada região, assim como o design construtivo, o que dificulta a padronização global, refletindo diretamente na falta de normas construtivas, certificados de qualidade e testes de resistências (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; KANTERS, 2020; RAKHSHAN et al., 2020).

Com relação às barreiras técnicas do DfD foram desenvolvidas a ISO 20887:2020, pela Organização Internacional para a Padronização, fornecendo uma visão geral das estratégias e princípios de desmontagem e adaptabilidade (DfD/A) para novas construções ou reformas, incluindo diretrizes para o desenvolvendo de briefing para os clientes, definições de termos, e requisitos que são obrigatórios para a implementação. Em conjunto com a ISO 20887:2020 foram adotados os princípios estabelecidos na ISO 15392- (Sustentabilidade em obras de edificações e engenharia civil — Princípios gerais) e na ISO 15686- (Edifícios e bens construídos — Planejamento de vida útil — Parte 1: Princípios gerais e estrutura).

Apesar da normatização promovida pela ISO 20887:2020, esta não estabelece níveis específicos de desempenho para obras de desmontagem e adaptabilidade, pois segundo a norma nem todos os princípios DfD/A são igualmente aplicáveis ou adequados a todas as situações; sendo assim, o que se deve considerar são aspectos direcionadores, como os citados a seguir:

- a) Facilidade de acesso a componentes e serviços: esse aspecto reduz o tempo de substituição e a geração desnecessária de resíduos durante a substituição ou manutenção dos componentes ou materiais, por isso deve-se levar em conta conexões, sempre que possível, expostas e com espaço necessário em todos os lados para desmontagem;
- b) Conexões reversíveis: além de deixar espaço necessário para montagem e desmontagem, as juntas e conectores devem ser projetadas para resistir ao uso repetido, de modo a minimizar danos e deformação; diminuir o número de conexões; e dar preferência por uma conexão macho e fêmea, em vez de ligações químicas;
- c) Independência: a norma divide a construção em “camadas”: (i) casca e núcleo que é a fundação e a superestrutura; (ii) serviços elétricos e hidráulicos e por último (iii) divisórias, forros, pisos, luminárias e acabamentos) que devem ser separadas umas das outras para facilitar a construção e desconstrução, além disso propõe separar componentes de longa duração de componentes de curta duração;
- d) Evitar tratamentos e acabamentos desnecessários: a escolha de acabamentos pode limitar as opções de reutilização ou reciclagem, especialmente se potenciais substâncias perigosas estão incluídas;
- e) Apoiar modelos de negócios de reutilização (economia circular);
- f) Simplicidade; apresentar simplicidade nas conexões/componentes e diminuir a quantidade de elementos reduz a probabilidade de falhas e quebra dele;
- g) Padronização: a uniformização de produtos e peças, desde aspectos dimensionais ao controle de qualidade;
- h) Segurança de desmontagem: garantir a qualidade do produto ao desmontar e remontar.

2.3 Produtos existentes para fins construtivos, com base em conexões desmontáveis.

Alguns estudos na literatura identificam o uso de tecnologias da construção enxuta, a exemplo da pré-fabricação e o do BIM (Building Information Modeling/Modelling) como meios de desenvolver estratégias para a redução de resíduos de construção e de demolição (DING et al., 2018; AKANBI et al., 2018; LUO; ZHANG; SHER, 2021; VISCUSO, 2021).

No entanto, é pouco explorada a integração destas tecnologias com o processo de desconstrução, considerando seus benefícios econômicos, ambientais ou mesmo a otimização das atividades da desmontagem dos componentes, principalmente, em reformas ou reparos corretivos e preventivos das construções (AKANBI et al., 2019; AKINADE et al., 2015;

AKINADE et al.,2017; MARZOUK; ELMARAGHY, 2021; MESA et al., 2018; VISCUSO, 2021).

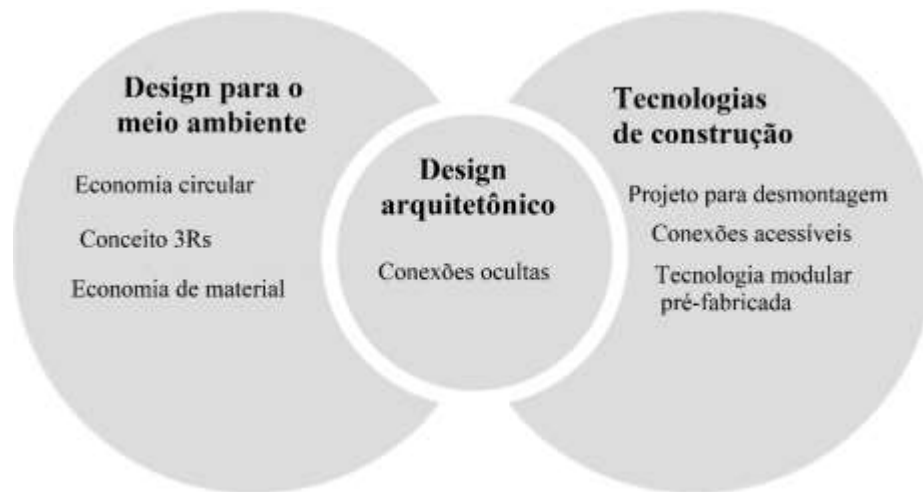
Um aspecto importante a ser destacado neste contexto é evidenciado em diversos estudos é a reciclagem, ou a remanufatura, ou até mesmo a reutilização de peças (elementos construtivos) para outras funções; os trabalhos ressaltam que a estratégia mais benéfica neste cenário, seria a reutilização dos componentes sem a necessidade do seu reprocessamento, mantendo a mesma função para qual ele havia sido projetado inicialmente (JAILLON; POON, 2014; SALAMA, 2017; AKINADE et al., 2017; DING; WANG; ZOU, 2016; ECKELMAN et al., 2018; AKBARIEH et al., 2020).

Assim a etapa do projeto e desenvolvimento do produto deve ser priorizada, a fim de maximizar o potencial de reutilização dos componentes e evitar a fabricação de novos para aplicações futuras (DING; WANG; ZOU, 2016; AKINADE et al., 2017). Se essas condições forem atendidas e os componentes forem utilizados pelo menos 3 vezes, estudos como o de Eckelman et al. (2018) afirmam que os impactos ambientais deste tipo de construção, qual seja, com o uso de elementos desmontáveis e reutilizáveis, reduziram de 60% a 70% o impacto ambiental quando comparado às construções tradicionais.

Quando essa preocupação inicial com o projeto e seu ciclo de vida não ocorre, mesmo que as peças da construção possam ser reutilizadas, os impactos não são reduzidos. Um exemplo foi a produção do pavilhão brasileiro da EXPO Milão 2015, que se tivesse um projeto ideal para desmontagem, poderia ter reduzido em média 30% dos impactos ambientais considerando o ciclo de vida do pavilhão; contudo, a indisponibilidade de locais para armazenar os materiais e a ausência de compradores interessados nos componentes usados, obrigaram a empreiteira a se desfazer de grande parte dos componentes (ARRIGONI et al., 2018).

O'Grady et al. (2021) sugerem uma solução para tais problemas a partir das interconexões das tecnologias de construção e a preocupação com o meio ambiente, o que poderia instigar promover a convergência entre o design do projeto e seu futuro reaproveitamento, como apresentado na figura 2, no qual apresenta o design arquitetônico como forma de intersecção desses conjuntos, por meio das conexões ocultas.

Figura 2- Estrutura de integração para o Design arquitetônico e suas conexões



Fonte: Adaptado e traduzido de O'Grady *et al.*, (2021)

Apesar da ascensão de novos métodos construtivos como: (i) sistemas estruturais primários 2D pré-fabricados (painéis); (ii) sistemas estruturais primários 3D pré-fabricados (unidades volumétricas); (iii) pré-fabricados de componentes estruturais lineares (vigas, colunas); (iv) conjuntos não estruturais pré-fabricados (unidades banheiros/ cozinhas); (v) manufatura aditiva externa (impressão 3D automatizada); (vi) melhorias de produtividade no local (por exemplo, sistemas de parede para acomodar tijolos); (vii) e a automação nos canteiros de obra (DAMS *et al.*, 2021; RAJANAYAGAM *et al.*, 2021), a reutilização dos componentes ainda é complexa e pouco usual (FIGUEIRA *et al.*, 2021).

A tecnologia de sistemas de construções modulares (SCM), com componentes pré-fabricados e com o sistema off-site (montado fora do canteiro de obra) proporcionam um melhor controle da qualidade e redução do desperdício comparado aos sistemas construtivos convencionais (SCC), principalmente devido evolução da padronização (JAILLON; POON, 2014; AKBARIEH *et al.*, 2020; ANASTASIADES *et al.*, 2021; MA *et al.*, 2021; RAJANAYAGAM *et al.*, 2021). Além disso, os componentes pré-fabricados dos sistemas apresentam facilidade para serem desmontados, transportados e podem ser separados entre estruturas superiores e inferiores, promovendo o modelo de negócios da economia circular (AKBARIEH *et al.*, 2020).

Os materiais para constituição das unidades (compostas de viga de piso, viga de teto, colunas, paredes, painel de piso e painel de teto) dos SCM podem ser variados, entretanto, os módulos baseados em aço têm características de maior flexibilidade e menor peso considerando os projetos arquitetônicos, além de suportarem maiores vãos e serem mais fáceis de conectar,

quando comparados aos módulos de concreto e madeira (MA *et al.*, 2021).

Eckelman *et al.* (2018) afirmam que as estruturas de aço apresentam melhor adaptação à desconstrução no final da vida útil de uma estrutura, desde que não tenham sido submetidas a danos permanentes e extensos. Já O'Grady *et al.*, (2021) confirmam a reciclabilidade do aço por meio de um estudo de caso de uma construção denominada de Legacy Living Lab (L3), que pode ser desmontada em oito módulos, sendo uma massa total de 36,3 toneladas de materiais utilizados, incluindo aço (61%) e madeira (26%). Entretanto, a reutilização dos materiais de madeira foi considerada limitada ao número máximo de três reconstruções, devido à degradação do material e ao uso de tratamentos químicos potencialmente tóxicos. No estudo de caso referido, dos 26% de madeira utilizados, 58% podem ser desmontáveis e tecnicamente reutilizáveis infinitas vezes devido à resiliência do material e ao design preciso para desmontagem.

Um agravante que se verifica nos processos construtivos em discussão, refere-se a grande parte das conexões utilizadas entre componentes, as quais são semi-secas, ou seja, demandam pequenas porções de concreto, moldados no local, para conectar os elementos pré-fabricados (DING *et al.*, 2018). Esse tipo de junção, ligada quimicamente, não raro, requer extrema força para ser removida, causando muitas vezes, danos aos componentes, além de problemas associados a inclusão de variáveis da construção no local, como mau tempo, altas taxas de variações de mão-de-obra e falta de preparo da mesma (FIGUEIRA *et al.*, 2021; O'GRADY *et al.*, 2021; RAJANAYAGAM *et al.*, 2021), o que faz com que a demolição ainda seja preferida à desconstrução e à desmontagem.

Um método para tornar a desmontagem possível seria a utilização de conexões secas, cujos os elementos estruturais pré-fabricados são conectados uns aos outros, sem a necessidade de ligação química (AKINADE *et al.*, 2015; MESA *et al.*, 2018). Dessa forma, o reaproveitamento pode ser facilmente realizado, sem a necessidade de reciclagem ou geração de resíduos. Adotando esses princípios estima-se que possa haver uma redução em mais de 50% da energia incorporada na fabricação de novas estruturas (FIGUEIRA *et al.*, 2021).

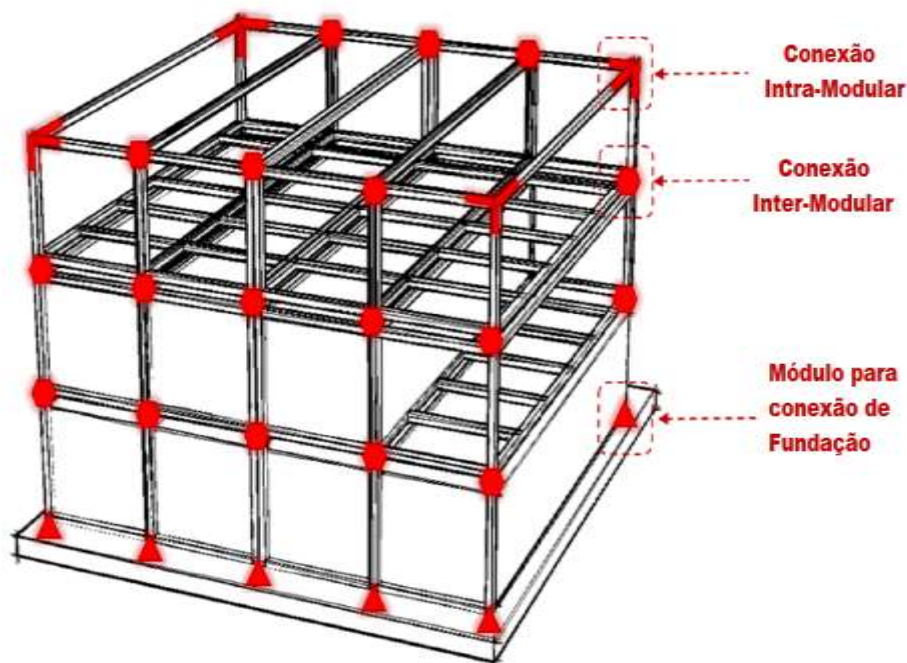
O problema é que o conhecimento atual sobre ligações a seco em estruturas pré-moldadas de concreto ainda é muito escasso e incompleto, restringindo, em muitos casos, a materiais em estruturas de aço e estruturas mistas de aço / concreto (DING *et al.*, 2018; FIGUEIRA *et al.*, 2021). Mesmo com uso em estruturas mistas, alguns estudos afirmam que as conexões a seco apresentam limitações para uso em zonas propensas a terremotos, como China e Japão, principalmente para construções altas (DING *et al.*, 2018; CAI *et al.*, 2019; MALLA *et al.*, 2021).

Além disso, Moynham e Allwood (2014) mesmo indicando o uso de conexões aparafusadas para vigas desmontáveis, afirmam que as porcas podem tornar-se difíceis de remover após 20 anos no local ou o parafuso pode danificar sua ligação com o concreto ao longo do tempo. Outro problema estaria relacionado as conexões de aço soldadas, cujas ligações precisariam ser destruídas, por exemplo, por corte com maçarico, dificultando o reuso do componente (MOYNIHAN; ALLWOOD, 2014).

Dessa forma, as conexões para esses componentes desmontáveis se tornam essenciais, porém trabalhosas, porque cada membro deve ser devidamente conectado, a fim de garantir a transmissão de momentos de flexão, carga lateral, de cisalhamento e forças axiais ((DHANAPAL *et al.*, 2019; FIGUEIRA *et al.*, 2021; PONGIGLIONE *et al.*, 2021).

Assim, o conhecimento prévio das limitações e aplicações dessas conexões para os componentes, pode garantir que o sistema seja concebido para melhor montagem e desmontagem, e futuro reaproveitamento (RAJANAYAGAM *et al.*, 2021). A literatura especializada recente apresenta 3 principais métodos de conexão para os sistemas construtivos modulares (SCM) sendo: (i) intra-modular, (ii) inter-modular e (iii) módulo para conexões de fundação, conforme figura 3 (NADEEM *et al.*, 2021; RAJANAYAGAM *et al.*, 2021).

Figura 3- Tipos de conexões para construções modulares



Fonte: Adaptado de Rajanayagam et al. (2021)

Conexões intra-modulares: são, geralmente, conexões soldadas, entretanto essas não permitem a rotação de membros de aço devido aos momentos de obstrução e forças axiais; ou aparafusadas, por exemplo, com viga-pilar os tipos de conectores usados compreendem presilhas de ângulo duplo, conexões de placas aletadas, e placas de extremidade aparafusadas, as conexões de placas finas especificamente, em comparação com outras conexões, têm ductilidade, rotação e capacidade de momento relativamente baixas, que explica porque eles são ideais apenas para estruturas de 3 ou menos andares.

Conexões inter-modulares: são, geralmente, conexões horizontais em duas direções planas de módulos vizinhos e uma conexão vertical dentro de módulos empilhados, é composta de várias vigas e pilares ligando elementos dependendo da geometria dos módulos construtivos. Para construções no local, são preferidas conexões aparafusadas em relação às juntas soldadas, pois elas fornecem um caminho para compartilhamento de carga e transmissão entre unidades, além disso atendem aos requisitos de desconstrução e manutenção.

Módulo para conexão de fundação: as bases de fundações, em geral, podem consistir em concreto pré-moldado ou in situ, estacas de concreto, estacas de aço, e podem ser colocadas no topo de uma estrutura de aço construída tradicionalmente no piso térreo ou no inferior.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação Metodológica da Pesquisa

O presente trabalho foi desenvolvido segundo os princípios metodológicos *do Design Science Research*, método utilizado em várias áreas do conhecimento e voltado à elaboração de artefatos, além disso, apresenta integração com a melhoria contínua por meio das interações dos processos, principalmente, nas atividades de construção, processo de design e avaliação do artefato (SALAZAR et al. 2020; SALAZAR; BALLARD; ARROYO; ALARCÓN; 2019; DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

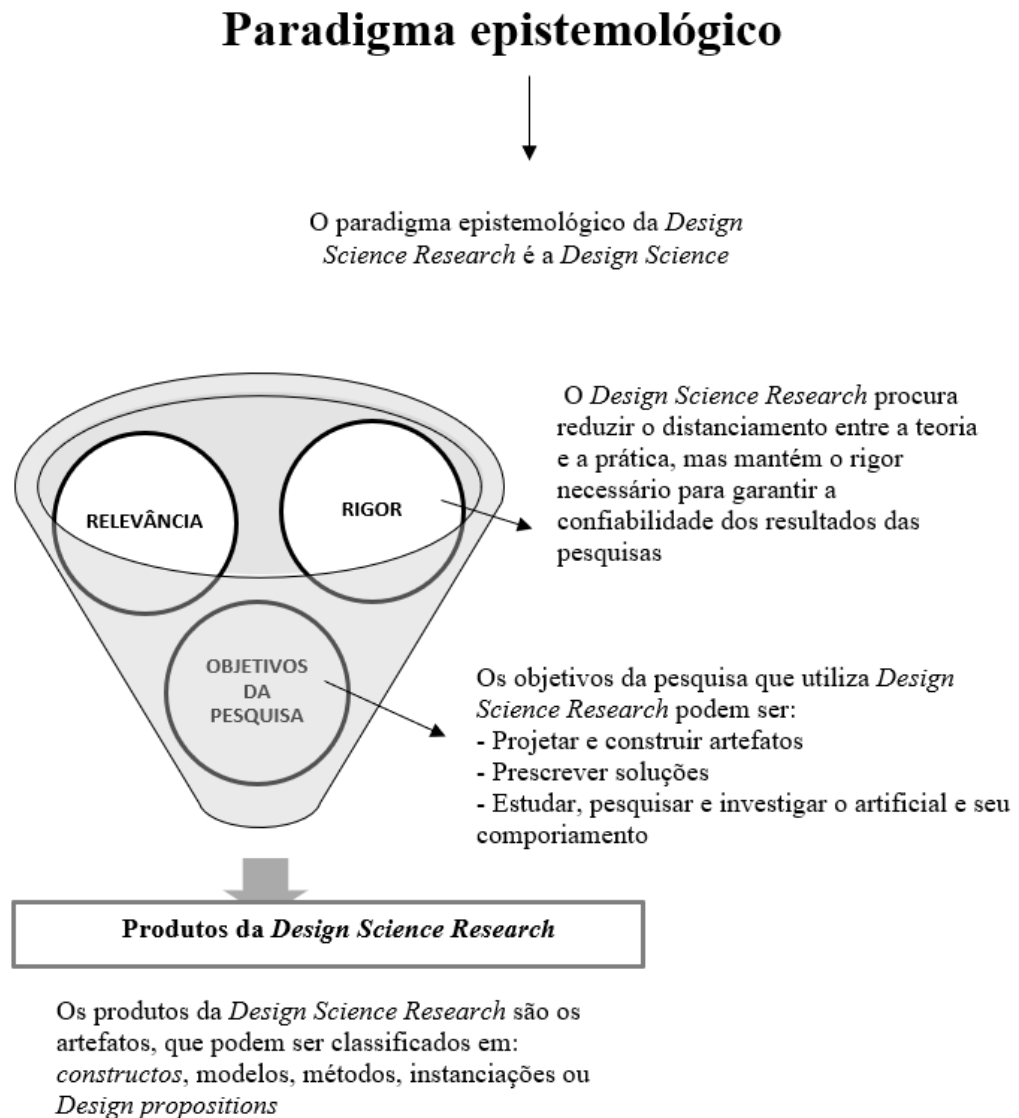
Deste modo, o método de pesquisa, através do entendimento de um problema, busca uma solução satisfatória para produção de conhecimento científico e resolução de problemas reais, mediante o desenvolvimento de uma inovação, no caso um artefato (FORMOSO; TILLMANN; HENTSCHKE, 2022; DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015).

Segundo Simon (1996), o artefato é construído pelo homem, considerado, dessa forma, como algo artificial. Entretanto, é necessário submetê-lo às ciências tradicionais, definidas como leis naturais, assim pode ser analisado em termos: i) descritivos, que engloba seus principais componentes e informações; e ii) imperativos, definidos por questões normativas de construção e aplicação (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015).

Assim, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), existem quatro tipos de classificação das pesquisas em termos de relevância e rigor, sendo: (i) as pesquisas indesejadas, que não apresentam resultados relevantes e muito menos sustentação em termos metodológicos e teóricos; (ii) as pesquisas levianas, com baixo rigor metodológico, ou seja, com baixa contribuição do conhecimento técnico-científico, porém com alta relevância, por isso enfatiza a solução do problema; (iii) pesquisas autocentradas, com alto rigor teórico e metodológico, contudo apresentam baixa preocupação com a aplicabilidade; (iv) e a pesquisa necessária, que será o foco desse trabalho, que apresenta alto rigor teórico e metodológico e alta relevância, com intuito de integrar os campos para gerar algo aplicável (TÖBBEN; OPDENAKKER, 2022).

O paradigma epistemológico da *Design Science Research* é a *Design Science*, ou seja, a pesquisa precisa apresentar uma importância para o campo prático com a preocupação com o rigor teórico detalhado na figura 4 (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015).

Figura 4-Síntese dos conceitos e fundamentos da Design Science Research



Fonte: Adaptado de Dresch; Lacerda; Miguel (2015, p. 71)

Apesar de diversos autores terem formulados métodos, muitos deles distintos, para a operacionalização do Design Science, todos mencionam a importância de uma definição do problema a ser estudado, assim como a etapa de desenvolvimento do artefato (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015), como demonstrado na figura 5.

Figura 5- Principais elementos que compõem a Design Science Research.

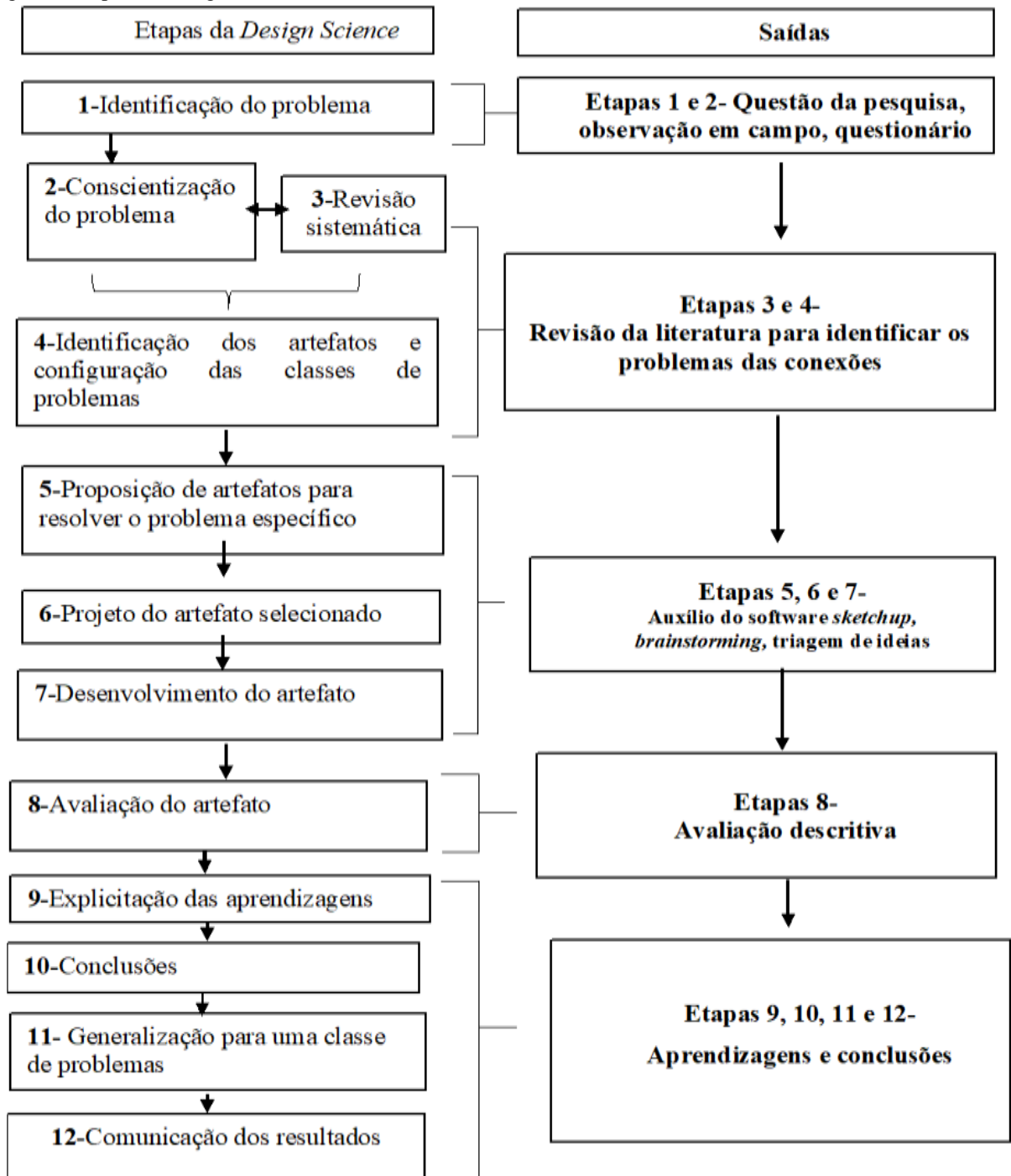
Autores	Principais etapas do método							
	Definição do problema	Revisão da literatura ou busca por teorias existentes	Sugestões de possíveis soluções	Desenvolvimentos	Avaliação	Decisão sobre a melhor solução	Reflexão e aprendizagens	Comunicação dos resultados
Bunge (1980)	✓		✓	✓	✓			
Takeda <i>et al</i> (1990)	✓		✓	✓	✓	✓		
Eekels e Roozemburg (1991)	✓		✓	✓	✓	✓		
Nunamaker, Chen e Purdin (1991)	✓		✓	✓	✓			
Walls, Wyidmeyer e Sawy (1992)	✓	✓	✓	✓				
Van Aken, Berends e Van der Bij (2012)	✓		✓	✓	✓		✓	
Vaishnavi e Kuechler (2004)	✓		✓	✓	✓	✓		
Cole <i>et al.</i> (2005)	✓		✓	✓	✓		✓	
Manson (2006)	✓		✓	✓	✓	✓		
Peppers <i>et al.</i> (2007)	✓		✓	✓	✓			✓
Gregor e Jones (2007)	✓	✓	✓	✓	✓			
Baskerville, Pries-Heje e Veneble (2009)	✓		✓	✓				

Fonte: Adaptado de Dresch; Lacerda; Antunes (2015, p. 92)

Já o rigor científico desta investigação está baseado no protocolo proposto por Dresch, Lacerda e Antunes (2015), que enfatiza a confiabilidade e a validação do artefato. Os 12 passos

que compõem o procedimento operacional desta pesquisa, podem ser melhor representados na figura 6.

Figura 6-Etapas do Design Science Research



Fonte: Adaptado de Dresh, Lacerda e Antunes (2015, p 134)

4 DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

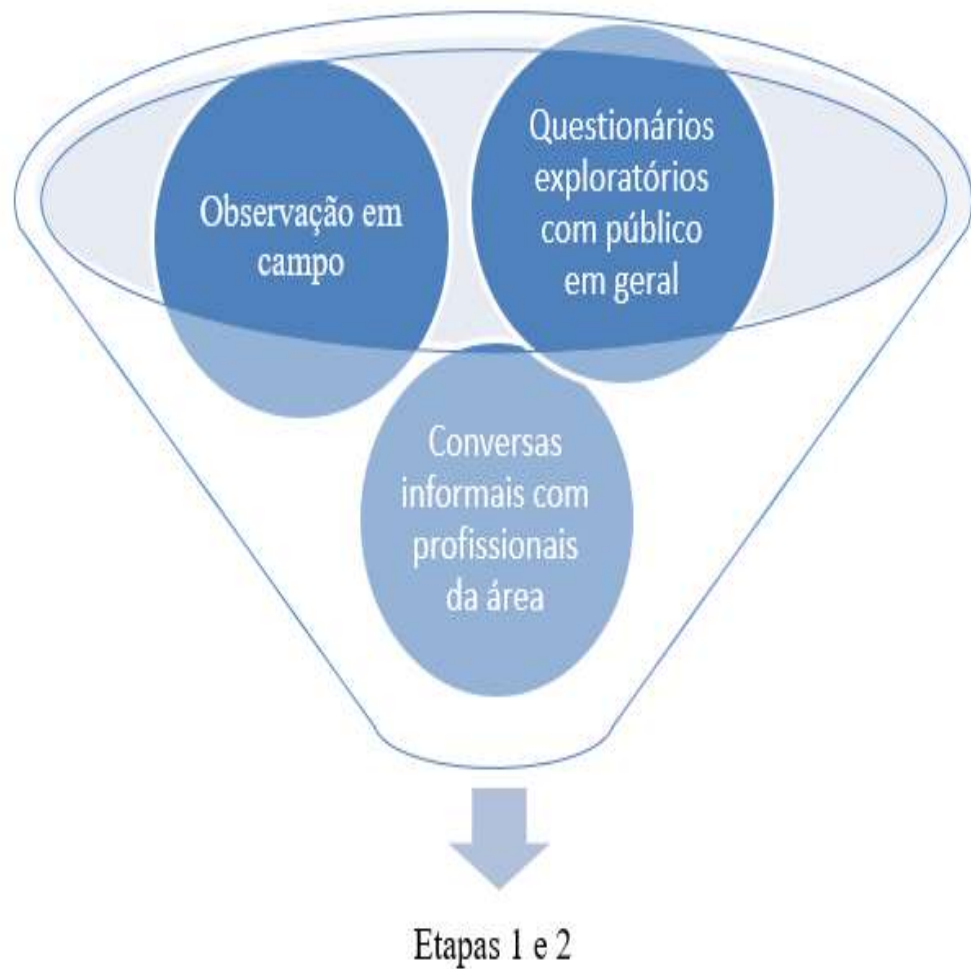
O artefato gerado nesta pesquisa, de acordo com a definição de design de Walls, Wyidmeyer e Sways (1992) leva em consideração o produto (o projeto de algo que será produzido) e o processo (a maneira que será projetado); por isso, serão seguidas as etapas baseadas no protocolo proposto por Dresch, Lacerda e Antunes (2015), divididos em cinco subetapas já descrita na figura 6 da seção 3 (Metodologia).

4.1 Etapas 1 e 2 da DSR: Identificação e Conscientização do Problema

As **Etapas 1 e 2** Etapas 1 e 2 – Identificação e Conscientização do Problema – essa fase inicial envolve procedimentos como a observação em campo, que tem o propósito de corroborar os problemas apresentados na seção de introdução, quais sejam, o excesso de perdas e desperdícios existentes nos canteiros de obras, e a falta de componentes construtivos adequados que levem em consideração as premissas da estratégia de montagem e da desmontagem dos sistemas de construção. Estas etapas foram complementadas com informações advindas do público em geral e profissionais técnicos da área (sendo um pedreiro, um servente e um mestre de obra), utilizando um questionário para levantar informações gerais e exploratórias, sem a proposta de definir a pesquisa. O propósito deste procedimento foi verificar se a solução proposta para o problema seria bem aceita, assim como mensurar o conhecimento do público em geral sobre o tema, como mostra o funil de procedimentos na figura 7.

Por meio das observações em campo e do depoimento dos profissionais da área foi confirmado que os processos construtivos são em sua maioria de natureza artesanal, com pouca difusão de produtos que gerem menos desperdícios e impactos ambientais.

Figura 7-Funil de procedimentos das etapas 1 e 2.



Fonte: Fonte próprio autor

Em um dos canteiros visitados foi possível verificar as conexões de alvenaria convencional com estruturas metálicas sem possibilidades de serem revertidas, a não ser por geração de resíduos, como observado na figura 8.

Figura 8-Foto de obra em execução



Construção de alvenaria com estruturas metálicas com desperdício de materiais durante a construção, e possível verificar restos de tijolos quebrados no chão.

Fonte: Próprio autor

Mesmo fazendo uso de dispositivos do tipo formas, para diminuir os desperdícios na construção, como a integração do sistema convencional com estruturas pré-moldados de aço, a geração de resíduos ainda é inevitável no processo construtivo da edificação, como observado na figura 9, com formas de madeiras que serão descartadas e na figura 10, com a passagem de tubulações.

Figura 9-Foto de obra em execução (descarte das formas de madeira)

Formas de madeiras utilizadas para moldagem das estruturas de concreto, após uso essas formas são jogadas no lixo.



Fonte: Próprio autor

Figura 10-Foto de obra em execução (quebra das paredes de alvenaria para passagem de conduítes)

Parede pronta que foi quebrada, para passagem de tubulação de elétrica, gerando resíduos.



Fonte: Próprio autor

4.2 Etapas 3 e 4 do DSR: Revisão da Literatura e Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas da DSR: Revisão da Literatura

Vários autores descrevem protocolos próprios para realizar uma Revisão da Literatura, entretanto todos apresentam em comum a busca, seleção e a avaliação da qualidade de estudos. Segundo Dresch, Lacerda e Antunes (2015) a revisão da literatura, basicamente, identifica lacunas em relação a uma questão ou tópico de pesquisa definida, a fim de mapeá-la de forma planejada; os autores apresentam em seu trabalho, um protocolo, que foi o escolhido para realizar a revisão desta investigação e pode ser mais bem representado no quadro 1 que segue.

Quadro 1- Protocolo para revisões sistemáticas

Framework Conceitual	O Design para desconstrução associado à Construção enxuta para desenvolvimento de produto para construção civil
Contexto geral	Sistemas construtivos no setor da construção civil pensando no design para reutilização do artefato
Horizonte	2014 a início de 2021
Correntes teóricas	Construção enxuta (por meio da Sistema de construção pré-fabricada) e Design para desconstrução
Idiomas	Inglês e português
Questão de revisão	Qual a geometria (design) de um artefato com características desmontáveis se conectar com um bloco pré-fabricado e que possa ser reutilizado por meio da montagem e desmontagem do sistema de sustentação?
Estratégia da revisão	Configurativa, haja vista, que se trata de uma questão aberta, com intuito de explorar o tema.
Critérios de buscas	Inclusão: Artigos e revisões dentro dos filtros de período e idioma. Informações, definições e aplicabilidade de conexões para viga-pilar, pilar-parede (exceto painéis), pilar-fundação, para sistemas construtivos, com foco maior em conexões desmontáveis para construções de pequeno porte. Aplicabilidade bem como integração de conceitos para redução de resíduos com base no design pré-fabricado e desmontável dos componentes.
	Exclusão: Resultados que não atendam os critérios de inclusão e artigos duplicados.
	“Modular connection” (MC)
	"Demountable Connection" (DC)
	"Building Prefabricated"(BP)
	"Disassemblable Building" (DB)
	"Design for Disassembly" (DfD1)
“Design for Deconstruction" (DfD2)	
Base de dados	<i>Scopus</i> : foi escolhida por ser uma das bases de dados mais ampla e precisa.

Fonte: Adaptado de Dresch; Lacerda; Antunes (2015, p. 155)

Para realizar a revisão foram feitos vários testes com combinações entre palavras-chave

e os operadores booleanos AND e OR, obtidos a partir de leituras prévias do tema. Dentre as palavras-chaves identificadas e possível citar: “*dry joint*”; “*dry connection*”; “*dismountable structures*”; “*dismountable connections*”; “*Interconnections*”; “*interlocking*”; “*masonry*”; “*modular connection*”; “*modular construction*”; “*modular house*”; “*prefabrication*”; “*prefabricated construction*”; “*prefabricated component*”; “*building prefabricated*”; “*prefabricated building*”; “*Mortarless*”; “*reversible design*”; “*lean design*”; “*structural design*”; “*product design*”; “*architectural design*”; “*modular design*”; “*design for deconstruction*”; “*design for disassembly*”; “*design for reuse*”; “*tie columns*”; “*concrete block*”; “*Building systems*”; “*construction systems*”; “*construction process*”; “*small building*”; “*lean construction*”, “*BIM*”, optou-se por palavras-chave mais abrangentes para a questão da desmontagem, conexão e construção pré-fabricada, descritas no protocolo da revisão de literatura do quadro 1 acima.

A primeira combinação foi realizada com o operador booleano AND: (TITLE-ABS-KEY (“*Demountable Connection*”) AND TITLE-ABS-KEY (“*building prefabricated*”) AND TITLE-ABS-KEY (“*design for disassembly*”)), porém essa combinação não apresentou resultados.

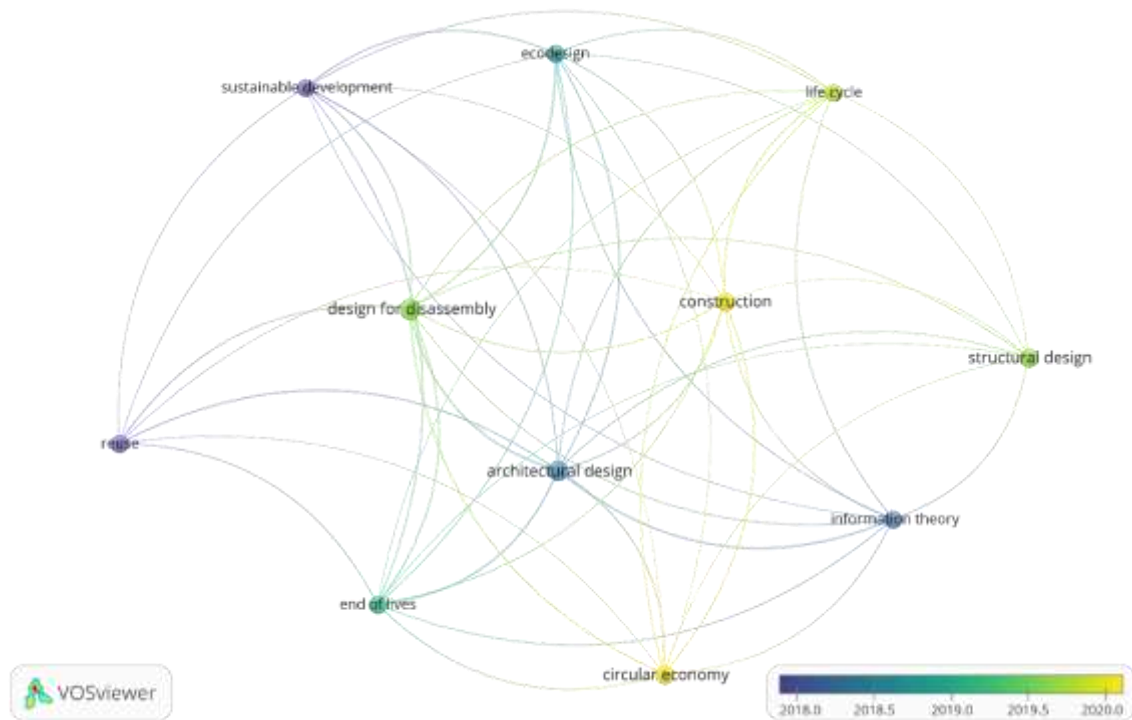
Já na segunda combinação, o operador booleano foi trocado para OR: TITLE-ABS-KEY (“*Demountable Connection*”) OR TITLE-ABS-KEY (“*Building prefabricated*”) OR TITLE-ABS-KEY (“*design for disassembly*”), e sem aplicar qualquer filtro foram encontrados 501 resultados; após aplicar filtros para um período determinado (2014 a 2021), tipo de conteúdo (artigos e revisões) e idioma (inglês e português), a quantidade inicial foi reduzida de 501 para 104 obras. Todos esses 104 trabalhos foram filtrados através da análise de conteúdo envolvendo o título e o resumo, o que reduziu a quantidade a 31 obras. As 31 obras foram lidas na íntegra e selecionadas pela análise de seus conteúdos e por seu grau de aderência ao tema, o que resultou na exclusão de 11 delas, e qualificou como suporte da revisão bibliográfica desta investigação, 21 trabalhos.

A partir dos resultados obtidos na base de dados foi possível construir e visualizar redes bibliométricas com o software VOSviewer. O software é uma ferramenta de mineração que é capaz de analisar citações, criar redes de co-ocorrências de autores, analisar palavras-chaves, dentre outros pontos. Com a ferramenta é possível visualizar rede de conexões separados por clusters, que se agrupam por familiaridade, e são separados por cores e linhas (quanto maiores os pontos, mais relevância eles possuem) (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

Com os artigos selecionados, foi possível analisar os países que mais publicaram sobre o tema, sendo o Reino Unido, Itália e Austrália, com maiores números de publicações, além de co-ocorrências de todas as palavras-chave (248) que apareceram no mínimo 4 vezes. Além de

conseguir analisar as três palavras-chaves com maiores co-ocorrências por autores sendo elas “reuse” e “design for disassembly” e “circular economy”, como mostra conforme a figura 11.

Figura 11-Rede bibliometria segunda combinação "Demountable Connection" OR "Building prefabricated" OR "design for disassembly"



Fonte: Próprio autor

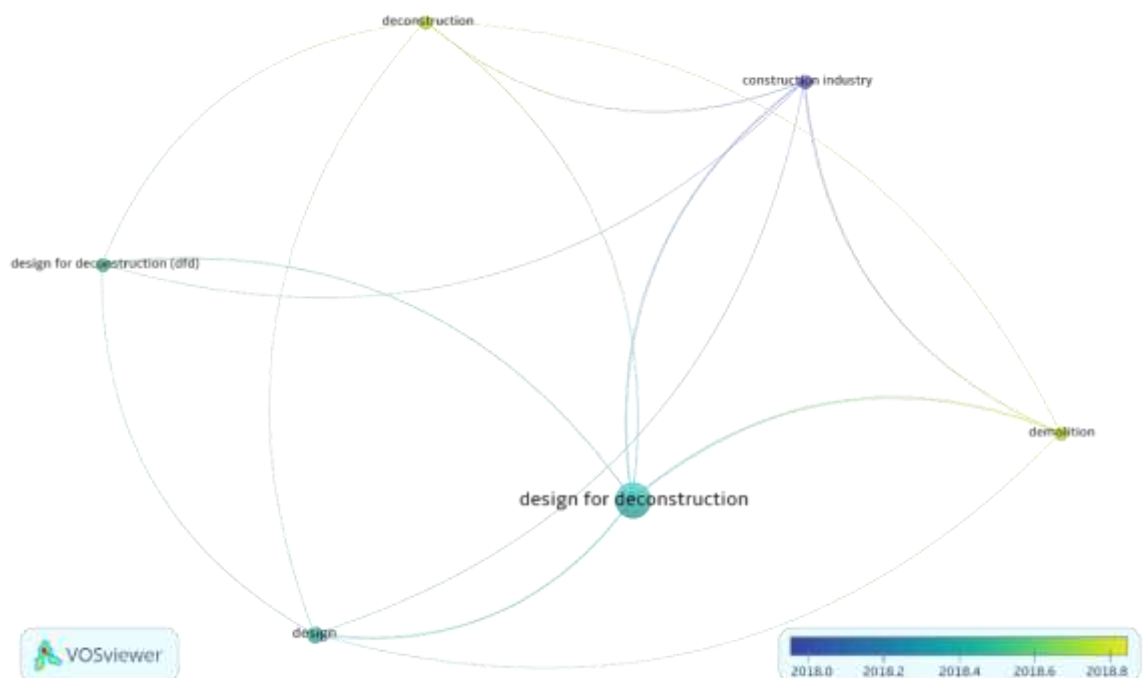
A terceira combinação foi realizada com o operador booleano AND, e ocorreu a troca das palavras-chave, para verificar se haveria mudanças nos resultados: (*"Design for deconstruction"*) AND TITLE-ABS-KEY (*"modular connection"*) AND TITLE-ABS-KEY (*"Disassemblable Building"*), essa combinação também apresentou resultado zerado.

Já na quarta e última combinação, voltou-se ao operador booleano OR, com as mesmas palavras-chave da terceira combinação: (*"Design for deconstruction"*) OR TITLE-ABS-KEY (*"modular connection"*) OR TITLE-ABS-KEY (*"Disassemblable Building"*) sem aplicar qualquer filtro, e foram encontrados 193 resultados; após aplicar filtros para um período determinado (2014 a 2021), tipo de conteúdo (artigos e revisões), e idioma (inglês e português), a quantidade de obras foi reduzida de 193 para 93, quantidade esta que em função da análise

subsequente, de conteúdo do título e resumo, excluiu os artigos encontrados na combinação anterior, o que reduziu a quantidade de obras a 42 trabalhos, para leitura na íntegra, dos quais foram selecionados 20 após essa etapa.

Com os artigos selecionados foi possível analisar os países que mais publicaram sobre o tema, sendo a China com maior número de publicações, além de co-ocorrências de todas as palavras-chave (228) que apareceram no mínimo 4 vezes, e as palavras-chaves que mais ocorreram sendo elas: “*demolition*” e “*design for deconstruction*” “*design*”, conforme a figura 12.

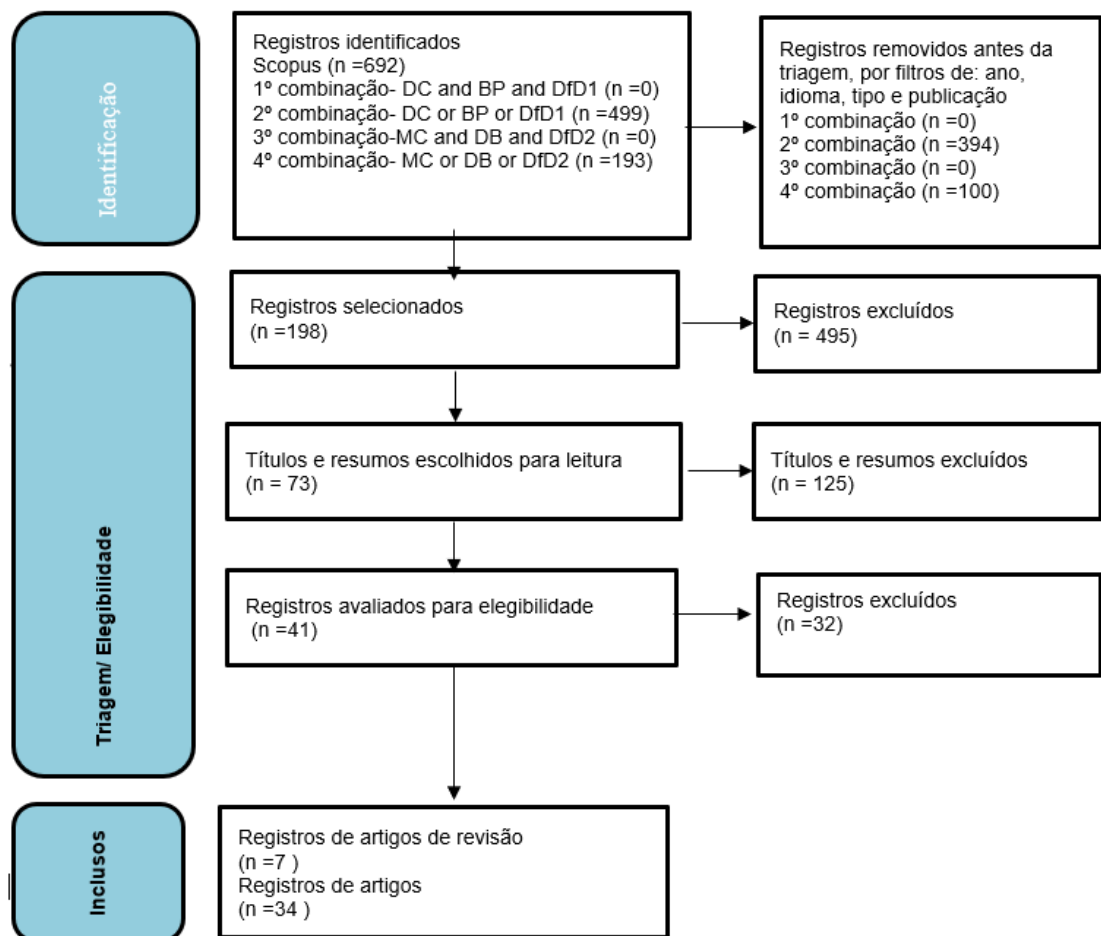
Figura 12- Rede bibliometria quarta combinação "Design for deconstruction" OR "modular connection" OR "Disassemblable Building"



Fonte: Próprio autor

De forma resumida, a sistemática adotada para seleção dos artigos foi estruturada através do Prisma *Workflow* representado na figura 13.

Figura 13-Prisma Workflow dos artigos incluídos na revisão



Fonte: Próprio autor

4.3 Etapas 5, 6 e 7 do DSR: Proposição de artefatos para resolver o problema específico e o desenvolvimento do artefato

O DSR é muito utilizado em ambiente que envolvem tecnologia da informação (TI) e diversos são os autores que descrevem conceitos relacionados à classificação dos artefatos, entretanto, esta pesquisa adotou os conceitos propostos por March e Smith (1995) os quais categorizam os artefatos em: constructos (vocabulário e símbolos), modelos (abstrações e representações), métodos (algoritmos e práticas) e instanciações (implementação de sistemas e protótipos). No caso desta pesquisa, o artefato desenvolvido pode ser caracterizado como uma instanciação, por se tratar da realização de protótipo do objeto. O quadro 2 proposto por Lacerda *et al.* (2013), descreve os tipos já citados:

Quadro 2- Tipos de Artefatos

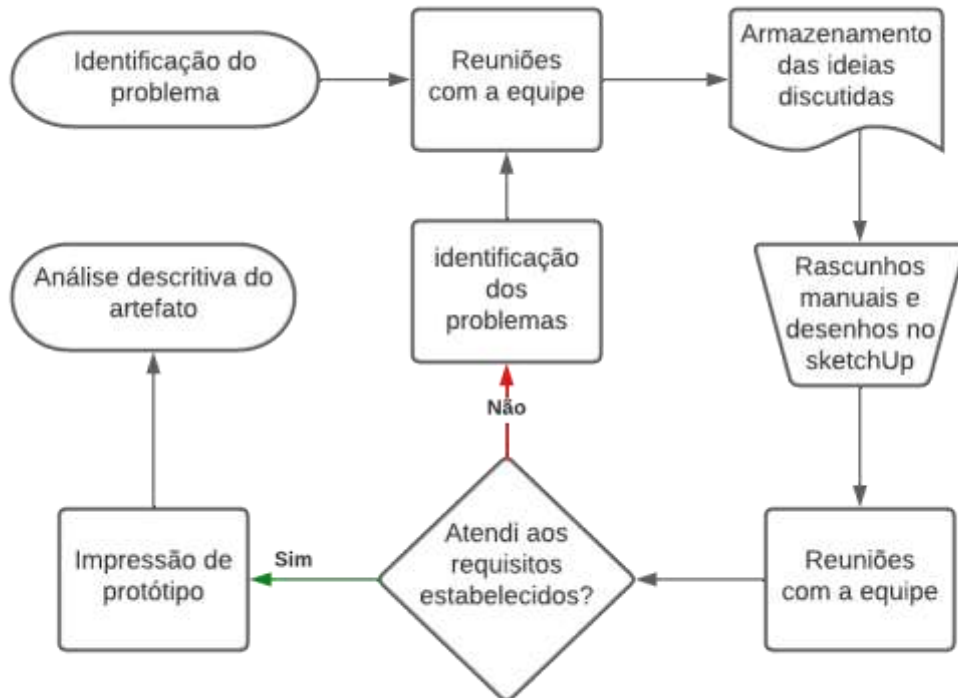
		Descrição
Tipos de artefatos	Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções.
	Modelos	Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de <i>design</i> , modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são.
	Métodos	Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método podem utilizar partes do modelo como uma entrada que o compõe.
	Instanciações	Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Instanciações demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que elas contemplam
	Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções.

Fonte: Adptado de Lacerda *et. al.*, (2013, p. 749)

O Fluxograma representado na figura 14, exemplifica o processo para melhor compreensão das etapas para o desenvolvimento do produto, representando um processo cíclico para o refinamento dos protótipos propostos, através da identificação do problema central (falta de um produto desmontável estrutural que atende o DfD, com intuito de diminuir resíduos), e

identificação dos problemas dos artefatos propostos.

Figura 14-Processo de planejamento do produto



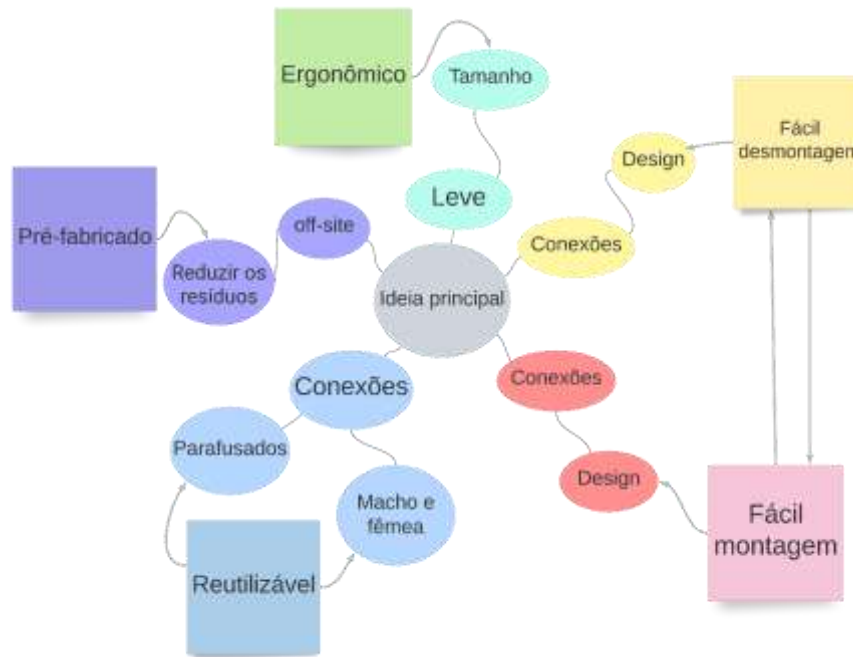
Fonte: Próprio autor

4.3.1 Reuniões com a equipe, uso da ferramenta *SketchUp* para desenhos dos protótipos em 3D e impressão

A equipe é constituída por uma engenheira civil, uma engenheira de produção e um engenheiro mecânico, e as reuniões foram realizadas de forma presencial e on-line, com intuito de aflorar o lado criativo, por meio de brainstorming, com a geração de insights e um grande volume de ideias, confirmando o que os autores Hevner, March e Park (2004) descrevem como um processo inerentemente iterativo, como dever ser um processo de design.

Nas reuniões foram discutidas as características que o produto deveria ter para fornecer a quem está utilizando fácil montagem e desmontagem, por meio de conexões simplificadas e padronizadas, e dessa forma tornar pelo menos uma parte do sistema reutilizável; para isso, o elemento deveria ser leve e ergonômico, possuir facilidade de transporte e o encaixe adequado, por meio das conexões, para o bloco pré-fabricado, como visto na Figura 15.

Figura 15-Braistorming do processo de desenvolvimento de produto



Fonte: Próprio autor

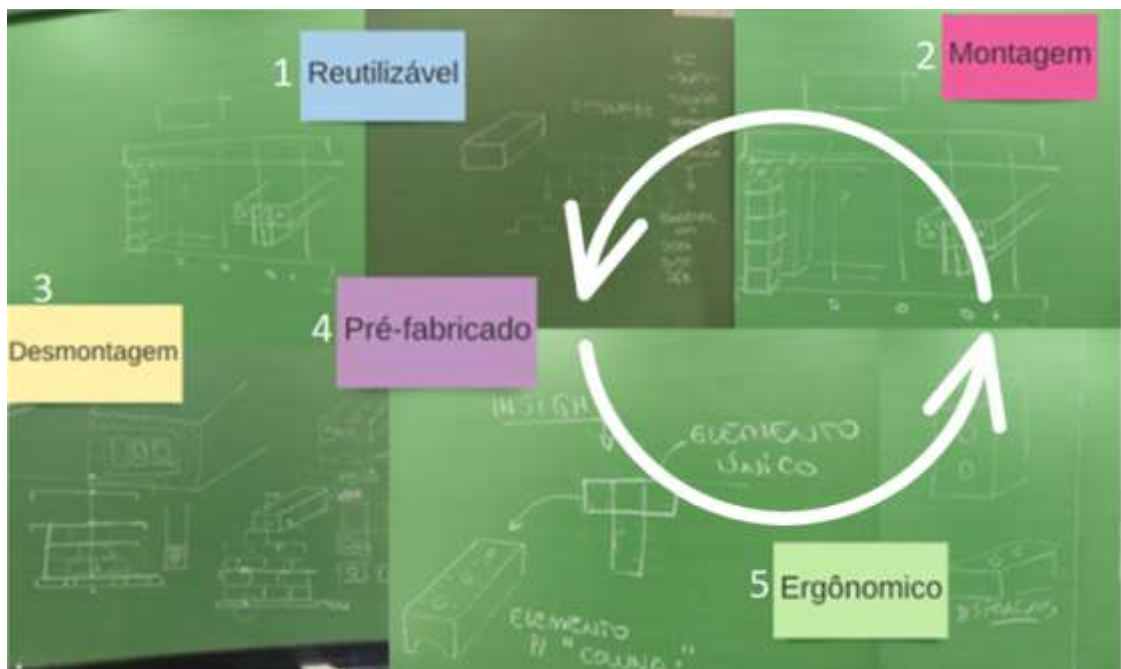
Além do processo de brainstorming, algumas reuniões contavam com a “sabatina do artefato”, por meio de perguntas e da busca por respostas ligadas às ideias geradas com os brainstormings, sempre voltadas para o design do produto, sem a preocupação com cálculos de dimensionamento, averiguações de resistência, que podem ser propostos em trabalhos futuros. O intuito era responder perguntas simples, além das especificações para a elaboração de produtos do DfD, como:

1. O material deveria ser parecido com o que já existe no mercado, como as normas técnicas estabelecidas?
2. Quais os designs existentes dos projetos que já utilizam a ideia de reutilização?
3. O sistema é parecido com o convencional para não apresentar uma barreira cultural entre os usuários?
4. O design pode ser fabricado de forma padronizada, independente e simplificada?
5. Será necessário construir elementos com design diferentes para o bloco de vedação, e um design para parede?
6. Os encaixes para a sua montagem e furos verticais e horizontais para a passagem do sistema elétrico e hidráulico?
7. Como os blocos ficaram firmes no decorrer do processo de montagem, para atender a segurança? Como?
8. Como seria feito a fundação e a montagem desse sistema?

9. Para o design proposto será preciso utilizar vigas?

Nas reuniões que eram feitas presencialmente eram levantadas perguntas, como as citadas anteriormente, e as respostas geravam mais insights. Por exemplo, na figura 16 foram agrupadas imagens de várias reuniões, nas quais eram discutidos a maneira como deveria ser o design para o produto reutilizável (1), além disso o produto deveria parecer com o que já existe, até mesmo para ajudar na praticidade de montagem do sistema (2 e 3), pensando depois na desmontagem para manutenção ou até mudança de local da edificação. Para isso seriam necessários produtos pré-fabricados (4) e ergonômicos (5).

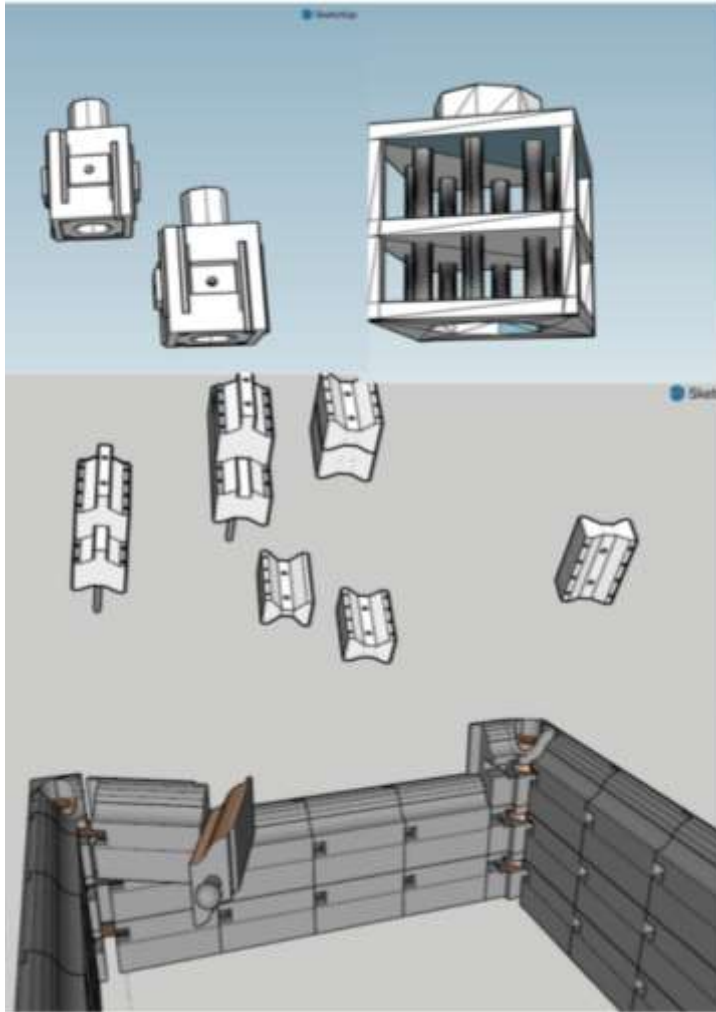
Figura 16-Esquemas de desenvolvimento de produto



Fonte: Próprio autor

Os rascunhos manuais foram passados para software de modelagem 3D chamado *SketchUp* para melhor visualização dos detalhes; entre eles estavam a forma de fixação sem argamassa, e as dimensões para melhorar o rendimento e garantir a ergonomia do produto. Após a análise da peça de forma 3D, foi realizada a prototipagem de algumas peças por meio da impressora 3D *Machine One*, ilustrados na figura 17 e 18.

Figura 17-Desenhos propostos



Fonte: Próprio autor

Figura 18-Impressão de protótipos para análise



Fonte: Próprio autor

Entretanto os modelos propostos não atendiam os princípios ergonômicos e de fabricação, principalmente por serem elementos com de elevada complexidade geométrica, o que dificultaria o processo de produção, elevando seus custos associados.











A identificação dos elementos estruturais existentes projetados para a diminuição de resíduos e reutilização das peças teve como base o levantamento dos dados realizado por conta da revisão da literatura (bases de dados) e da consulta a profissionais da área. Apesar desta estratégia ter conduzido a investigação a dois métodos de sistema construtivo, os quais podem ser mais bem compreendidos no detalhamento apresentado no quadro 3, nenhum deles apresentou descrição sobre a possibilidade de reutilizá-los para desmontagem e remontagem deles.

Quadro 3-Métodos e geometrias construtivas novas

Empresa/ Dados gerais	Imagens
<p>Conceptos Plásticos: é produzido um sistema de construção a partir de resíduos de plástico, utilizado para construir casas para pessoas em situações vulneráveis e escolas (Colômbia)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Quatro dias para montagem ● Estrutura leve e flexível ● Sistema modular ● Um tijolo de 50 cm equivale a 3,3 kg de material coletado ● Moradia para pessoas vulneráveis <p>Inventores:</p>	  <p>(CONCEITOS PLÁSTICOS, 2022)</p>

Quadro 3 - Métodos e geometrias construtivas novas

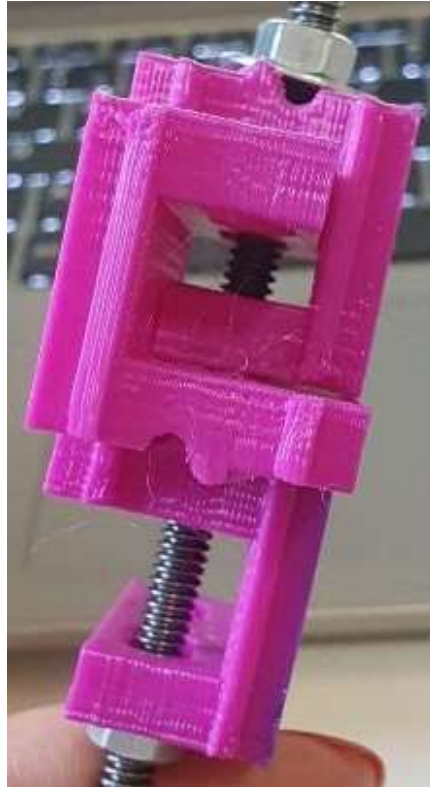
(Conclusão)

Empresa/ Dados gerais	Imagens
<p>Gablock: São produzidos kits de madeira contendo: lintel (Moldura de janela e portas); elementos de conexão (viga), componente de piso, feixe, bloco cinto isolado, bloco isolado geral, bloco inferior isolado, placa inferior e superior (Bélgica)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Simples ● Leve ● Rápido de montar ● Autoconstrução ● Armação pode ter entre 100 e 800 mm de altura ● Bloco com dimensão de 300 mm×300mm×300mm em que a estrutura é feita de OSB e o bloco de poliestireno expandido pesa cerca de 4 kg. <p>Inventor: Gabriel Lakatos</p>	          <p>(GABLOCK, 2022)</p>

Fonte: Próprio autor

Um dos esquemas retomados foi proposto por Corvello (2020) no qual ao fazer o protótipo como mostra a figura 19, utilizou um parafuso e roscas para fixá-los.

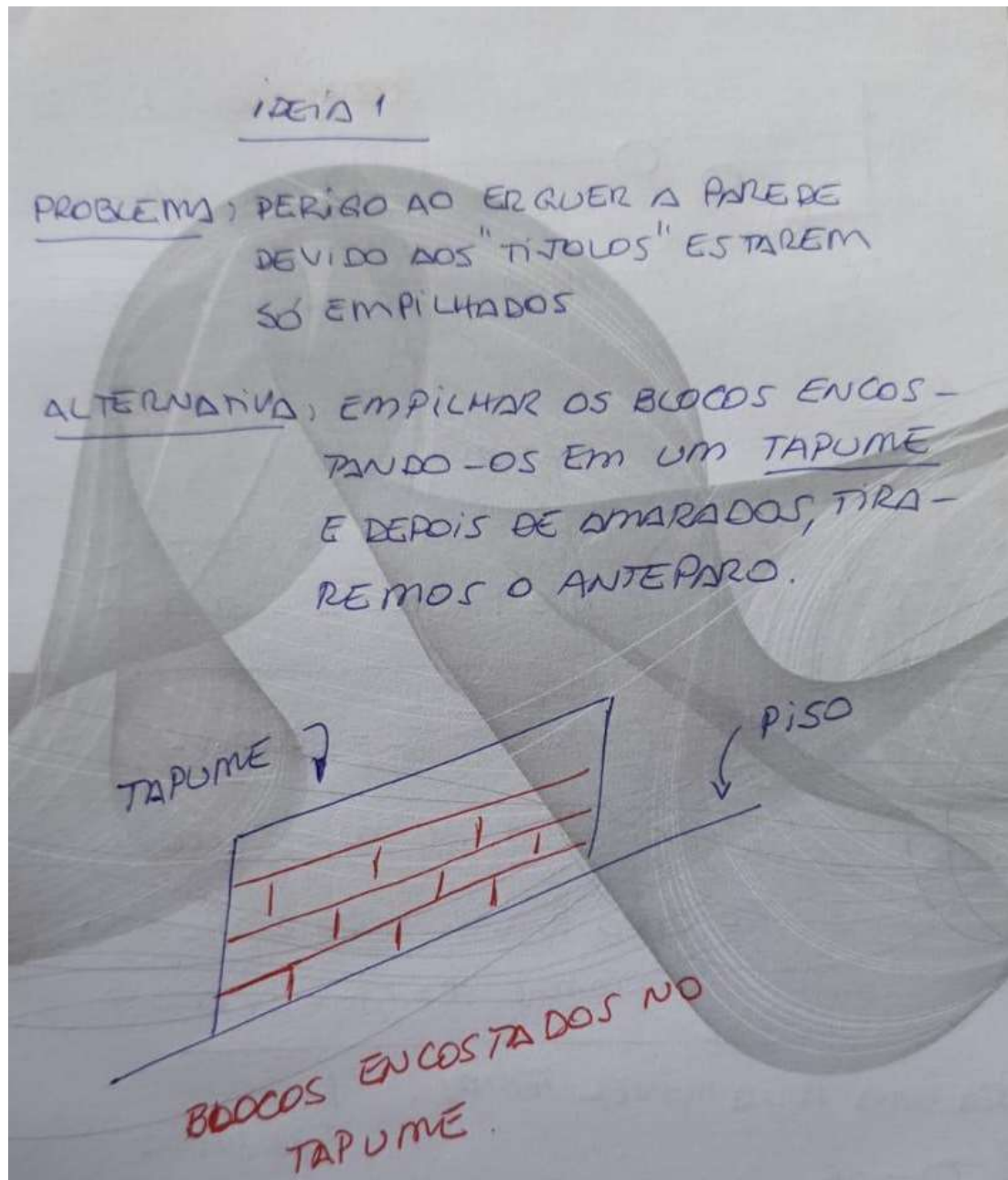
Figura 19-Montagem do protótipo original impresso em 3D



Fonte: Corvello, 2020

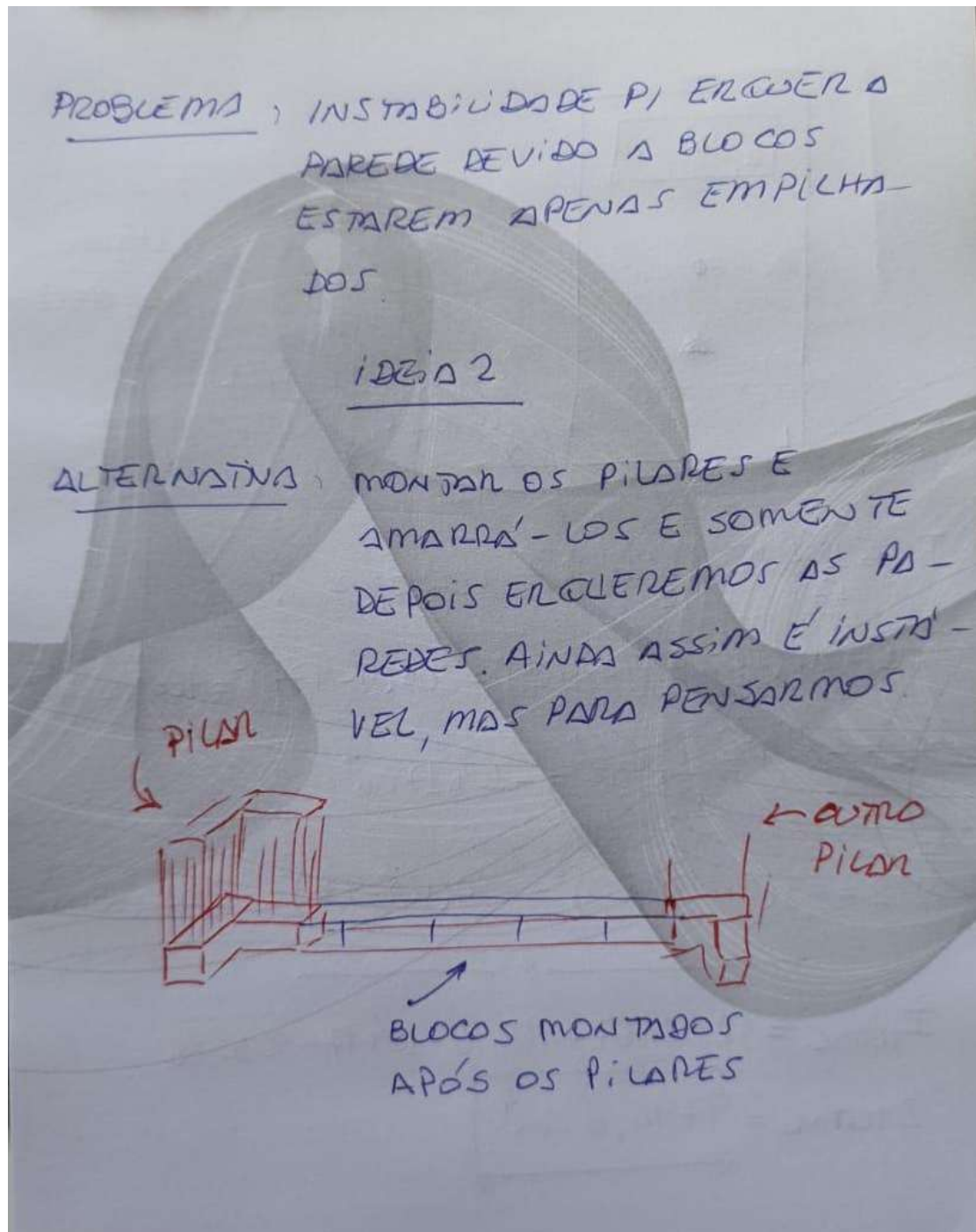
Por se tratar de um processo de criação voltado a geometria do produto o processo de iteração ocorreu constantemente, além das reuniões com a equipe de pesquisadores do trabalho, a fim de reconfigurar o design do bloco, para que atendesse tanto a vedação como elementos estruturais (como o pilar) e ficasse apenas o sistema de amarração e a fundação distintos, foi elaborado um grupo em uma rede social para que os integrantes pudessem compartilhar insights e preocupações com a geometria do produto e responder perguntas como, por exemplo: como empilhar os blocos sem comprometer a estabilidade da parede? As figuras 20, 21 e 22 apresentam algumas soluções propostas:

Figura 20-Como empilhar os blocos? Ideia 1



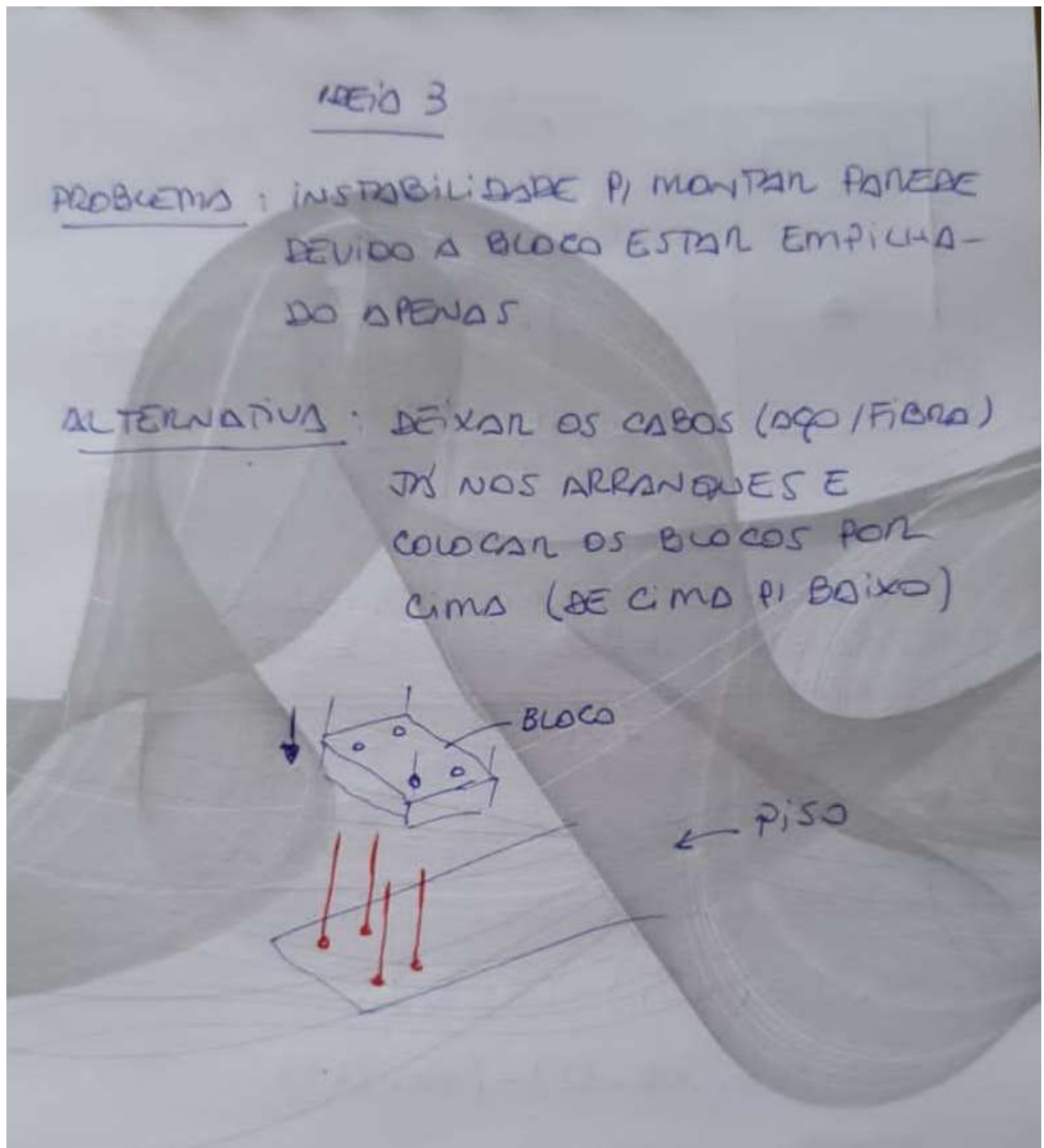
Fonte: Próprios autores do grupo de pesquisa

Figura 21- Como empilhar os blocos? Ideia 2



Fonte: Próprios autores do grupo de pesquisa

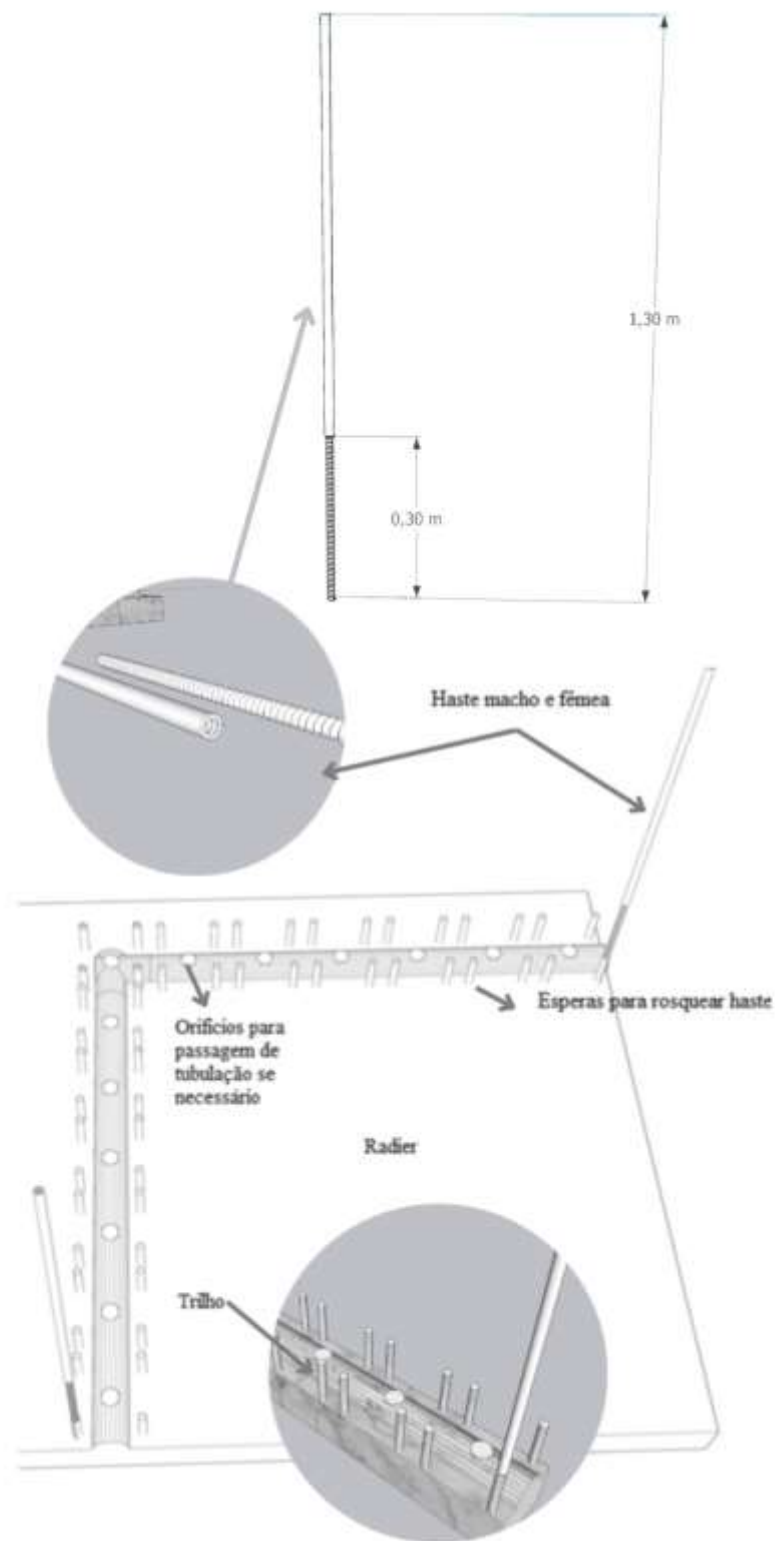
Figura 22-Como empilhar os blocos? Ideia 3



Fonte: Próprios autores do grupo de pesquisa

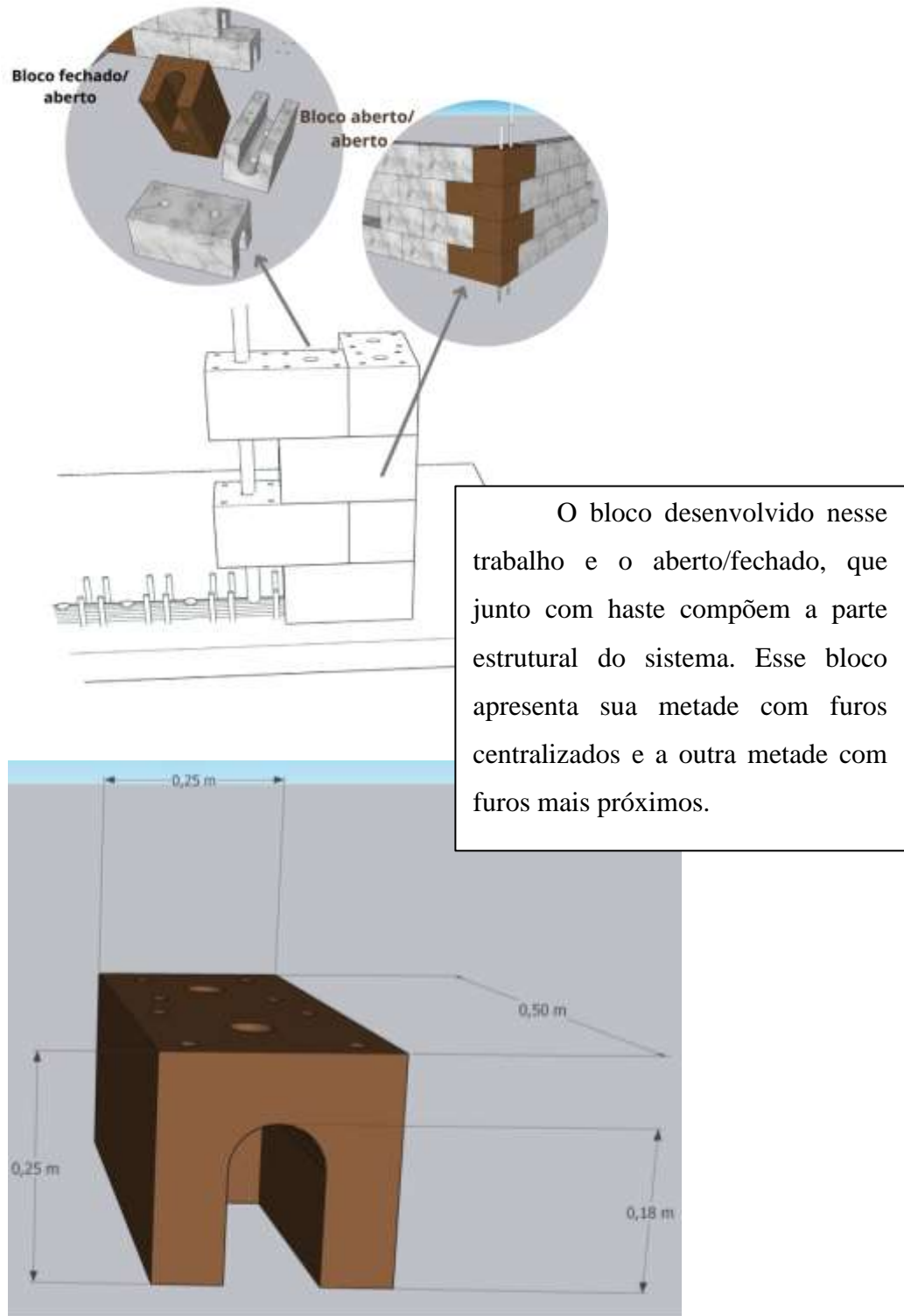
Além disso, foram retomadas as pesquisas com relação as conexões e as respostas do questionário aplicado, além do debate com outros profissionais como um engenheiro elétrico, outros engenheiros civis, e profissionais de outras áreas de atuação com nível técnico (pedreiros, mestre de obra e outros), sempre com os objetivos de atender o DSR e considerando o DfA, Projeto para Montagem, para simplificar a estrutura do produto e melhorar o processo de fabricação. Dessa forma, chegou -se aos resultados representados abaixo nas figuras 23 e 24:

Figura 23-Desenho 3D das hastes com conectores, trilho e fundação



Fonte: Próprio autor

Figura 24- Desenho 3D dos blocos e do sistema global



4.4 Etapa 8 da DSR: Avaliação do artefato selecionado

De acordo com Hevner, March e Park (2004) a avaliação do artefato é uma parte importante no processo do DSR, para os artefatos elaborados para TI, podem ser avaliados em termos de funcionalidade, integridade, consistência, precisão, desempenho, confiabilidade, usabilidade, ajuste com organização e outros atributos de qualidade relevantes. Além disso, Hevner, March e Park (2004) estabelecem cinco formas para avaliação, de acordo com o quadro 4.

Quadro 4-Métodos para avaliação dos artefatos

Forma de Avaliação	Métodos propostos
Observacional	Estudo de caso: Estude artefato em profundidade no ambiente de negócio
	Estudo de Campo: Monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos.
Analítico	Análise Estática Analítica: Examine a estrutura do artefato para qualidades estáticas (por exemplo complexidade)
	Análise da Arquitetura: Estudo da adequação do artefato à arquitetura do sistema técnico geral
	Otimização: Demonstrar propriedades ideais do artefato como os limites de desenvolvimento
	Análise Dinâmica: Artefato de estudo em uso para qualidades dinâmicas (por exemplo, atuação)
Experimental	Experimento Controlado: Estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades (por exemplo, usabilidade).
	Simulação: Executar o artefato com dados artificiais.
Teste	Teste Funcional (<i>Black Box</i>): Executar as interfaces do artefato para descobrir falhas e identificar defeitos.
	Teste Estrutural (<i>White Box</i>): Realizar testes, por exemplo, caminhos para a execução) para realizar o artefato
Descritivo	Argumento informado: Por meio das pesquisas encontradas para construir justificativas para utilidade do artefato
	Cenários: Detalhar a utilidade do artefato por meio de hipóteses e panoramas

Fonte: Adaptado de Hevner, March, Park, (2004).

Os projetos que são instanciações precisam passar pelo teste experimental (DRESCH; LACERDA; MIGUEL, 2015). Devido à limitação de recursos adicionais financeiros, de tempo, equipamentos e processos, o atual estudo não contemplará a análise de um material específico para um novo sistema construtivo, e não fará uma análise estrutural da peça, restringindo-se a elaboração do design para o artefato, podendo este ser entendido como o sistema de sustentação, com uso dos materiais já utilizados no setor da construção e que apresentam normas pré-estabelecidas.

Assim o experimento por simulação foi realizado de forma 3D para verificar questões de encaixe e montagem em um ambiente controlado, além disso foi feita uma avaliação descritiva por meio de criação de cenários (perguntas) para o sistema e execução.

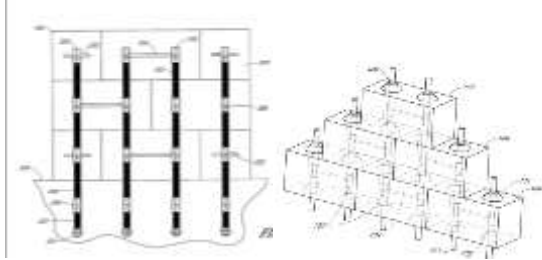
1. O material deveria ser parecido com o que já existe no mercado, como as normas técnicas estabelecidas?

Sim, pois será possível utilizar materiais como o solo cimento e até mesmo concreto para fabricação dos blocos, já o elemento de conexão (haste macho e fêmea) necessita que pelos menos a ponta seja de aço, fibra de vidro, ou um material que tenha resistência conforme norma e ao mesmo tempo seja possível fazer os encaixes.

2. Quais os designs existentes dos projetos parecidos com o proposto?

Para responder essa pergunta foi feito uma pesquisa na base de dados de patentes do Google, com as palavras-chaves “*plug-in mortarless*”, “*mortise blocks*”, “*threadable connector mortales*” e os resultados são apresentados no quadro 5.

Quadro 1- Patentes de produtos existentes

Descrição	
1A	<p>Sistema de reforço de alvenaria E04B2/16 Paredes com cavidades dentro, mas não entre os elementos, ou seja, cada cavidade sendo fechada por pelo menos quatro lados que fazem parte de um único elemento, usando elementos com meios especialmente projetados para estabilizar a posição</p>  <p>Patente US8667750B2 Inventor: Barry G. Speer (SPEER, 2012)</p>

<p>Quadro 2- Patentes de produtos existentes (continuação)</p>		
<p>Montagem: Os blocos possuem um design côncavo e um convexo e são empilhados para garantir um encaixe, é descrito pelo autor que em algumas partes do sistema o conector é fundido, cortado ou rosqueado. Sem uso de argamassa</p>	<p>Fundação: a parede está preferencialmente ligada a uma base, no qual as sapatas são formadas por ancoras rosqueadas e fundidas</p> <p>Dfd: Não é mencionado</p>	
<p>Bloco: Outro método de fabricação de blocos inclui a fundição de concreto de mistura úmida em moldes que incorporam texturas, a impressão de características de encaixe de blocos côncavos e convexos, canais macho e fêmea para várias facetas de utilidade previamente detalhadas e fundição do sistema de acoplamento interno, bem como outros canais para várias funções.</p>	<p>Conexão: são preferencialmente compostos de materiais rígidos, preferencialmente com resistência à tração significativa, como um metal ou liga metálica (por exemplo, ferro, aço etc.), um plástico, uma fibra de vidro, um compósito ou outro material funcionalmente compatível como seria apreciado por um especialista na técnica</p>	
<p>Descrição</p>		
<p>Bloco de construção sem argamassa, com passagens verticais que é ligado a outros blocos por meio de cavilhas Patente WO200815521A1 E04B1/4178 Amarrações de parede de alvenaria</p> <p>Inventores: Alfred Dooley. Sandra Dooley (DOOLEY, DOOLEY, 2008)</p>		
<p>2A</p>	<p>Montagem: Para construção de uma parede semiliga é colocada uma primeira fiada de blocos de 200 x 100 x 100 mm, e pode ser fixada a base com cola, por exemplo. Depois da primeira, as juntas cruzadas são inseridas no entalhe semicircular para fornecer suporte lateral. Uma segunda fiada de blocos, então um pino é colocado em uma passagem para aumentar estabilidade. Depois a cavilha é empurrada para dentro da passagem e deforma-se de modo a encaixar e ajustar no espaço. A parede é finalizada usando meio bloco para obter uma parede com acabamento plano e abertura de janelas e portas</p>	<p>Fundação: Não mencionado</p> <p>Dfd: Não mencionado, porém a primeira camada é colada, logo terá que ser descartado</p>

	<p>Quadro 3- Patentes de produtos existentes (continuação)</p>	
	<p>Bloco: Os blocos são fabricados por extrusão ou até modelagem, geralmente feitos de argila cozida ou pode empregar qualquer material utilizado para fabricação de tijolos As dimensões são: 300 x 100 x 100 mm e 200 x 100 x 100 mm</p>	<p>Conexão: As cavilhas podem ser feitas de plástico ou qualquer material deformável. Já os pinos em forma de estrela com lados côncavos de vidro pultrudado e um revestimento de polipropileno. Os tirantes cruzados são formados por uma estrutura circular com material resiliente que é dobrado para ser inserido nas ranhuras do bloco.</p>
Descrição		
3A	<p>Construção temporária modular E04B2/16 Paredes com cavidades dentro, mas não entre os elementos, ou seja, cada cavidade sendo fechada por pelo menos quatro lados que fazem parte de um único elemento, usando elementos com meios especialmente projetados para estabilizar a posição</p> <p>Patente: US6178714B1 Inventor: Robert S. Carney, Jr. (JR, 1999)</p>	
	<p>Montagem: A fundação é feita e são embutidas placas junto ao concreto com uma espera tubular para encaixar de haste. Os blocos possuem duas cavidades no meio e duas cavidades nas laterais, as hastes feitas de aço dimensionadas na altura do edifício são ligadas a uma chapa soldada que é colocada para rosquear os módulos do telhado.</p>	<p>Fundação: fundação de concreto vazado e nivelado, com furos regularmente espaçados para hastes e/ou colunas de montagem de blocos verticais Dfd: Apresenta uma solução para construção temporária, tem o intuito de padronizar um método de desmontagem de modo que os componentes sejam desmontados para reutilização.</p>
	<p>Bloco: Feito de concreto com dimensões 177,8 mm x 177,8 mm x 381 mm ou 177,8 mm x 177,8 mm x 457,2 mm m, possuem de duas cavidades no centro e um de montagem para passagem de uma haste para empilhar os blocos</p>	<p>Conexão: Hastes de montagem de aço apresenta um eixo com um fundo plano e uma placa de haste superior que é soldada ao eixo de haste e uma seção superior roscada. Os blocos de concreto são colocados na fundação com seus orifícios pré-formados nos topos da placa de base da haste do conjunto de blocos.</p>

Fonte: Próprio autor

As pesquisas revelaram uma analogia com alguns modelos das patentes encontradas, principalmente com item 3A, o que garante a plausibilidade do modelo proposto nesse trabalho apresentando algumas diferenças como:

a) A haste macho e fêmea proposto neste trabalho tem altura de 1 metro para ser fixada a cada 4 blocos, facilitando a ergonomia e aplicabilidade da peça, além de possuir na própria fabricação encaixes distintos dos lados da peça para facilitar a montagem, tanto na fundação com uma espera, como a desmontagem de forma rosqueáveis; já a haste do modelo 3A tem a altura total da edificação, apresenta um fundo plano com uma base fixada na fundação com concreto e a haste superior de aço soldada a uma placa roscada para receber o telhado de um lado o encaixe, esses detalhes podem dificultar a montagem e desmontagem da peça e não ser muito ergonômico para o usuário

b) Além das diferenças nas conexões da haste existe a diferença no bloco, haja vista que o modelo proposto apresenta dois blocos distintos, aberto/ aberto e aberto/fechado, o aberto fechado é utilizado para fazer cantos e possivelmente aumentar a resistência do bloco, além disso os abertos/abertos, usados como elemento de vedação, permitem a passagem de tubulações de elétrica e hidráulica. Além do mais os blocos são simétricos garantindo em cada lado a passagem de quatro hastes de amarração, podendo possibilitar maior estabilidade global. Outro ponto são as dimensões do bloco, pois o modelo proposto apresenta medida padrão de 250 mm x 250 mm x 500 mm.

c) Outro ponto distinto é em relação a fundação, haja vista que no modelo proposto será realizado um trilho feito de concreto ou aço, espelhando o negativo do bloco para maior fixação na fundação, além das esperas para hastes, este aspecto facilitaria a questão da desmontagem e do reuso das peças. Já no modelo 3A é feita uma fundação de concreto com as placas e esperas fixados pelo concreto.

3. O sistema é parecido com o convencional para não apresentar uma barreira cultural entre os usuários?

Sim, a aparência externa do bloco garante uma assimilação com a alvenaria convencional

4. O design pode ser fabricado de forma padronizada, independente e simplificada?

Sim, o sistema é composto por um elemento de conexão cujas extremidades são machos e fêmeas para serem rosqueadas no sistema de fundação, dois blocos com medidas simétricas que diferenciam apenas nas aberturas e um trilho de fundação.

5. Será necessário construir elementos com design diferentes para o bloco?

Sim, os blocos de vedação possuem as duas extremidades abertas para facilidade de tubulações de elétrica e hidráulica, já os blocos de canto uma extremidade aberta e outra fechada

6. Existem encaixes para a sua montagem e furos verticais e horizontais para a passagem do sistema elétrico e hidráulico?

Sim, existem furos centrais para passagem de tubulação e furos nas extremidades para orifícios para passagem das hastes macho e fêmea na vertical

7. Como os blocos ficaram firmes no decorrer do processo de montagem, para atender a segurança? Como?

Devido ao fato das hastes macho e fêmea serem de 1 metro e rosqueáveis existe uma facilidade na instalação do sistema empilhável, podendo fornecer uma resistência lateral e estabilidade global sem o uso de argamassa. A furação periférica existente no bloco confere estabilidade lateral enquanto a furação central, maior, pode ser usada como duto de passagem.

8. Como seria feita a fundação e a montagem desse sistema?

Seria feito uma fundação em radier para que possa ser encaixado no trilho, (o trilho pode ser feito de concreto e concretado junto com o radier, entretanto perderia a função de reutilizar, ou de aço utilizando parafusos de ancoragem para fixá-lo, sem a necessidade de fazer gabaritos) a fixação rosqueando as hastes macho- fêmea com a espera já deixada no trilho; será preciso começar o empilhamento com os blocos de canto aberto/fechado e logo após o empilhamento dos blocos de vedação aberto/aberto para que exista a intercalação entre os blocos, garantindo maior estabilidade na montagem sem precisar fazer juntas intercaladas. Tubulações e conduítes são passados durante o empilhamento do bloco.

9. Para o design proposto será preciso utilizar vigas?

Não será necessário utilizar vigas, pois o modelo proposto é indicado para unidades de habitação de pequeno porte.

4.5 Etapas 9, 10, 11 e 12 do DSR: Comunicação dos resultados

O propósito do trabalho, em um primeiro momento, foi desenvolver um design para um artefato com função desmontável para sustentação estrutural de blocos de vedação pré-fabricados. Por isso, os primeiros esboços do artefato foram desenvolvidos de maneira a complementar o bloco proposto por Corvello (2020), pensando em um possível pilar com conexões fixas para o bloco.

Entretanto, durante pesquisas de campo, revisões bibliográficas seriadas e discussões com a equipe de pesquisa, fora observada a necessidade de alterar a concepção inicial do bloco, para que todo sistema atendessem às filosofias *Lean Construction* e *Design for Deconstruction*,

ou seja, que proporcionasse a menor quantidade elementos possíveis de forma padronizada e simplificada, com maior facilidade de fabricação e sem a necessidade de mão-de-obra especializada, com menos instrumentação de ferramentas e melhora no manuseio para quem está utilizando o artefato.

Dessa forma, alterou-se o design do bloco inicial para que ele tivesse duas formas parecidas, mas que um fosse usado para vedação e o outro como uma espécie de pilar, além disso criou-se hastes que pudessem fazer a amarração dos mesmos com conectores nas duas extremidades do tipo macho-fêmea alternados, para dessa forma atender o que foi apontado nas pesquisas, ou seja, a necessidade de conexões secas para a facilidade de reutilização da peça.

Após o desenvolvimento do artefato, outra pesquisa foi realizada na base de dados Google Patentes com intuito de verificar os produtos existentes relacionados às hastes conectoras desenvolvidas nesse projeto.

Vale ressaltar que o modelo proposto ainda necessita de estudo e testes experimentais, haja vista que esse trabalho pretendia desenvolver um design para o artefato, diante disso será depositado o pedido de patente de Modelo de Utilidade do produto para o sistema global, além da necessidade de mais estudos experimentais para as peças.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma geometria desmontável para uma haste e um bloco aberto/fechado, que fazem parte de um sistema estrutural para ser utilizado como conexão de blocos pré-fabricados. O estudo foi realizado atendendo a metodologia de pesquisa *Design Science Research* (DSR). Foram utilizados para desenvolvimento do trabalho, as etapas do DSR propostas por Dresch, Lacerda e Miguel (2015), que inicia com a conscientização do problema.

Nesta etapa, foram detectados diversos estudos relacionados aos desperdícios da construção civil, além de uma vida útil limitada dos componentes, principalmente, devido aos processos construtivos tradicionais, que já estão bem definidos culturalmente e normatizados (JAILLON; POON, 2014, 2017; AKINADE et al., 2017; ECKELMAN et al., 2018; O'GRADY et al., 2021).

Portanto, teorias como a construção enxuta (*Lean Construction*) com a inserção de construções pré-fabricadas e utilização de ferramentas como o BIM, foram considerados elementos importantes que proporcionam uma minimização de resíduos no setor. Outro aspecto de grande relevância e que merece destaque é a inserção da temática desta pesquisa, na economia circular, como foi comprovada em diversos estudos científicos, sobretudo, quando se trata da utilização ou reutilização de componentes em mais de um ciclo de vida, o que promove a diminuição dos resíduos de construção e demolição, conseqüentemente, da quantidade de aterros sanitários e da extração de matéria-prima (ANASTASIADES *et al.*, 2021). Esses achados foram confirmados por meio de uma rede bibliométrica, com os artigos selecionados para revisão, nos quais as palavras economia circular, reutilização, design e demolição apareceram repetidamente.

A fase de projeto é encarada como uma forma a alcançar uma economia circular, pois é possível definir especificações de componentes e materiais, de forma a obter um projeto com pensamento na montagem e fabricação do produto para futura desmontagem, que suporte a reutilização e diminua resíduos da construção civil, assim foi fundamental a utilização de conexões que facilitem esses processos.

Em relação às conexões, a revisão da literatura destacou três tipos: conexão intermodular, conexão intramodular e módulo para conexão de fundação (2021; RAJANAYAGAM et al., 2021). Essas conexões, geralmente, usam juntas secas, por proporcionarem condições melhores para montagem e desmontagem e manutenção. No artefato elaborado a conexão entre blocos e hastes será feita de forma rosqueável, ou seja com juntas secas, dessa forma será possível deixar o sistema construtivo atendendo os objetivos do projeto.

Além da fase de conscientização, a DSR possui uma fase de desenvolvimento de produtos, que tem como estratégia o compartilhamento de ideias por meio de técnicas como brainstorming, prototipagem 2D e 3D, e que foram realizadas com o envolvimento da equipe de pesquisa, para assim resolver os problemas associados na fase de conceituação, através da confecção de artefatos. Diante de inúmeras tentativas, de diferentes formas, para encontrar maneiras melhores de fazer e proporcionar um design que atendesse os objetivos de proposição de uma geometria para um artefato com aspecto de conexão, chegou-se a uma haste com dimensão de 1 metro de altura com duas extremidades distintas, macho-fêmea e um possível trilho para fundação.

Após o desenvolvimento da geometria, foi feita uma nova busca na base de patentes, pois com o desenvolvimento do artefato novas palavras chaves foram propostas, com as palavras-chaves *"plug-in mortarless"*, *"mortise blocks"*, *"threadable connector mortarless"*. Apesar de, a partir das pesquisas de patentes no Google Patentes, terem surgido sistemas que guardam certa semelhança ao proposto, esse fato garante o princípio de plausibilidade aceitável do produto. Com base na avaliação do artefato, também proposto pelo DSR, o artefato atende ISO 20887:2020, que é a recente norma sobre os projetos de DfD, a haste com conector nas extremidades macho-fêmea, garante a padronização, a simplificação, segurança e outras características que a norma exige, para elaboração de produtos com base no DfD.

Considerando a técnica de amarração e conexão, o artefato atende a um processo elaborado de montagem, e considerando os aspectos de fabricação, os elementos poderão ser feitos de materiais como aço, fibra de vidro ou plástico, desde que atenda padrões de resistência para garantir a estabilidade do empilhamento do bloco, pensando na desmontagem para futura reutilização da peça.

No entanto, para pesquisas futuras, destaca-se a necessidade de realização de ensaios experimentais com diferentes materiais como fibra de vidro, plástico reutilizável, concreto, para que seja feito testes de resistência, viabilidade de custos, além da necessidade de elaboração de sistemas de telhado e aberturas, como portas, janelas e outros aspectos de uma construção de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

ABRISHAMI, S.; MARTÍN-DURÁN, R. BIM and DfMA: A Paradigm of New Opportunities. **Sustainability**, v. 13, n. 17, p. 9591, 26 ago. 2021.

ANASTASIADIS, K; GOFFIN, J; RINKE, M; BUYLE, M; AUDENAERT, A; BLOM, J. Standardisation: An essential enabler for the circular reuse of construction components? A trajectory for a cleaner European construction industry. **Journal of Cleaner Production**, 298, 2021

AKANBI, L.A; OYEDELE, L.O; OMOTESO, K; BILAL, M; AKINADE, O,O; AJAYI, A.O. Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. **Journal Cleanear Production**, 223:386-396, 2019.

AKBARIEH, A.; JAYASINGHE, L.B.; WALDMANN, D.; TEFERLE, F.N. BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review. **Sustainability**, 12(7), 2020.

AKINADE, O.O; OYEDELE, L.O.; OMOTESO, K.; AJAYI, S.O.; BILAL, M.; OWOLABI, H.A. BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities. **International Journal of Sustainable Built Environment**, 6(1):260-271, 2017a.

AKINADE, O.O; OYEDELE, L.O.; AJAYI, S.O.; BILAL, M.; ALAKA, H.A.; OWOLABI, H.A. Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. **Waste Management**, 60:3-13, 2017b.

AKINADE, O.O.; OYEDELE, L.; BILAL, M.; AJAYI, S.O; OWOLABI, H.; ALAKA, H.; BELLO, S. Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). **Resources, Conservation and Recycling**, vol 105, pp. 167-176, 2015.

AKINADE, O.; OYEDELE, L.; OYEDELE, A.; DELGADO, J.M.D.; BILAL, M.; AKANBI, L.; AJAYI, A.; OWOLABI, H. Design for deconstruction using a circular economy approach: barriers and strategies for improvement. **Production Planning and Control**, v. 31, n. 10, p. 829–840, 2019.

ARISYA, K.F; SURYANTINI, R. Modularity in Design for Disassembly (DfD): Exploring the Strategy for a Better Sustainable Architecture. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 738 012024, 2021

ARRIGONI, A; ZUCCHINELLI, M; COLLATINA, D; DOTELLI, G. Life cycle environmental benefits of a forward-thinking design phase for buildings: the case study of a temporary pavilion built for an international exhibition. **Journal Cleanear Production**, 187:974-983, 2018.

BASTA, A.; SERROR, M.H.; MARZOUK, M. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability. **Automation in Construction**, 111, 2020.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. DO C. D.; TAVARES, S. F. Interactions between Lean Construction Principles and Circular Economy Practices for the Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 7, 2021.

BERTINO, G.; KISSER, J.; ZEILINGER, J.; LANGERGRABER, G.; FISCHER, T.; ÖSTERREICHER, D. Fundamentals of building deconstruction as a circular economy strategy for the reuse of construction materials. **Applied Sciences**, v. 11, n. 3, p. 1–31, 2021.

CAI, G; XIONG, F; XU, Y; LARBI, A.S; LU, Y; YOSHIZAWA, M. A Demountable connection for low-rise precast concrete structures with DfD for construction sustainability-A preliminary test under cyclic loads. **Sustainability**, 11(13), 2019

CHAREF, R.; MOREL, J. C.; RAKHSHAN, K. Barriers to implementing the circular economy in the construction industry: A critical review. **Sustainability**, v. 13, n. 23, p. 1–18, 2021.

CHEN, QIAN R; FENG, HAIBO; SOTO, BORJA GARCIA DE. Revamping construction supply chain processes with circular economy strategies: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, 2022, v. 335, p. 130240, 10 fev. 2022.

CONCEITOS PLÁSTICOS. Construindo um futuro sustentável a partir de resíduos plásticos. Disponível em: <<https://conceptosplasticos.com/>>. Acesso em: 4 jun. 2022.

CORVELLO, F. M. **Projeto de um elemento de vedação segundo os conceitos do *Lean Construction* e do *Design for Deconstruction***. 2020. f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

CORVELLO, F.; DRIELLY, P. C.; HERMOSILLA, J.; SILVA, E. Lean Construction e seus modelos construtivos pré-fabricados: limitações e desafios. **Interação**, 2021. Disponível em: DOI 10.53660/inter-166-s228.

CRUZ RIOS, F.; GRAU, D.; CHONG, W. K. Reusing exterior wall framing systems: A cradle-to-cradle comparative life cycle assessment. **Waste Management**, v. 94, p. 120–135, 2019.

DAI, J.; ANG, K.K.; ZHANG C. Hydroelastic analysis of modular floating barges for hydrocarbon storage facility. **Journal of Marine Science and Engineering**, 18:450-456, 2019

DHANAPAL, J.; GHAEDNIA, H.; DAS, S.; VELOCCHI, J. Structural performance of state-of-the-art VectorBloc modular connector under axial loads. **Engineering Structures**, 183:496-509, 2019

DENIS, F.; VANDERVAEREN, C.; TEMMERMAN, N.D. Using network analysis and BIM to quantify the impact of Design for Disassembly. **Buildings**, 8(8), 2018.

DING Z, WANG Y, ZOU PXW. An agent based environmental impact assessment of building demolition waste management: Conventional versus green management. **Journal Cleanear Production**,133:1136-1153, 2016.

DING, T.; XIAO, J.; ZHANG, Q.; AKBARNEZHAD, A. Experimental and numerical studies on design for deconstruction concrete connections: An overview. **Advances in Structural Engineering**, v. 21, n. 14, p. 2198–2214, 2018.

DING, T.; XIAO, J.; KHAN, A. Behavior of concrete beam-column frame joints with DfD connections: A simulation study with interface modelling. **Engineering Structures** ,189:347-358, 2019.

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

DRESCH. A.; LACERDA, D.P.; MIGUEL, P.A.C. Uma Análise Distintiva entre o Estudo de Caso, A Pesquisa-Ação e a Design Science Research. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, Vol. 17, n. 56, p. 1116-1133, 2015b.

DOOLEY, A.; DOOLEY, S. **A building block and mortarless method**. Depósito: 19 jun. 2007. Concessão: 24 jan. dez. 2008. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/WO2008155521A1/en?q=WO2008155521A1>>. Acesso em: 4 jun. 2022

EBERHARDT, L. C. M.; STIJN, A. V.; RASMUSSEN, F.N.; BIRKVED, M.; BIRGISDOTTIR, H. Development of a life cycle assessment allocation approach for circular economy in the built environment. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 1–16, 2020.

ECKELMAN, M.J.; BROWN, C.; TROUP, L.N; WANG. L.; WEBSTER, M.D.; HAJJAR, J.F. Life cycle energy and environmental benefits of novel design-for-deconstruction structural systems in steel buildings. **Build Environ**, 143:421-430, 2018.

ELLEN MACARTHUR, F. **Completando a figura: Como a economia circular ajuda a enfrentar as mudanças climáticas**. p. 1–62, 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso em: nov. 2020

FIGUEIRA, D.; ASHOUR, A.; YILDIRIM, G.; ALDEMIR, A.; ŞAHMARAN, M.; Demountable connections of reinforced concrete structures: Review and future developments. **Structures**, 34:3028-3039, 2021

FORMOSO, C. T.; TILLMANN, P. A.; HENTSCHEKE, C. S. Guidelines for the Implementation of Mass Customization in Affordable House-Building Projects. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 4141, 2022.

GABLOK - Timber-frame self-build company. **Gablok**, Disponível em: <<https://gablok.com/en/about/>>. Acesso em: 4 jun. 2022

GUNAWARDENA, T.; MENDIS, P. Prefabricated Building Systems—Design and Construction. **Encyclopedia**, v. 2, n. 1, p. 70–95, 6 jan. 2022.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004

IACAVIDOU, E.; PURNELL, P.; LIM, M. K. The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution? **Journal of Environmental Management**, v.216, p. 214-223, 2018.

INCELLI F, CARDELLICCHIO L. Designing a steel connection with a high degree of disassembly: A practice-based experience. **Techne**, 22:104-113, 2021.

INNELLA, F.; ARASHPOUR, M.; BAI, Y. Lean Methodologies and Techniques for Modular Construction: Chronological and Critical Review. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 12, p. 04019076, 2019.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 20887: 2020** Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability. Geneva: ISO, 2020, p.44

JAILLON, L.; POON, C. S. Life cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. **Automation in Construction**, v. 39, p. 195–202, 2014.

JIN, R.; GAO, S.; CHESHMEHZANGI, A.; ABOAGYE-NIMO, E. A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. **Journal Cleanear Production**, v. 202, p.1202-1219, 2018

JR, R. S. C. **Modular temporary building**. Depósito: 06 jul. 1999. Concessão: 30 jan. 2001. Disponível em:<<https://patents.google.com/patent/US6178714B1/en>>. Acesso em: 5 jun. 2022

KANTERS, J. Design for deconstruction in the design process: State of the art. **Buildings**, v. 8, n. 11, 2018.

KANTERS, J. Circular building design: An analysis of barriers and drivers for a circular building sector. **Buildings**, 10 (4): 77, 2020

KOLUR, D.K; YADAV, S.; GULVINDALA, AK; BAHUBALENDRUNI, MR. A Framework to Facilitate Automated Assembly Sequence Planning in Design Strategies. **International Journal of Performability Engineering**, v.10, p. 1517-1524, 2020

KOSKELA, L.; HOWELL, G.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. The foundations of lean construction. **Design and construction: Building in Value**, v. 291, p. 211-226, 2002

KOSKELA, L. An exploration towards a production theory and its application to construction. **VTT Publications**, n. 408, 2000.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. **Salford: Center for Integrated Facility Engineering**, 1992.

LACERDA, D.P.; DRESH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR, J.A.V. Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013

LANGSTON, C.; ZHANG, W. DfMA: Towards an Integrated Strategy for a More Productive and Sustainable Construction Industry in Australia. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 9219, 17 ago. 2021.

LI, L.; LI, Z.; LI, X.; WU, G. A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization. **Engineering Construction and Architectural Management**, 2018.

LI, S.; FANG, Y.; WU, X. A Systematic review of lean construction in Mainland China. **Journal of Cleaner Production**, v. 257, 2020.

LUO, J.; ZHANG, H.; SHER, W. A mixed method for measuring incompatibilities between manufacturing approaches and off-site construction. **Engineering Construction and Architectural Management**, 28(9):2516-2548, 2021.

MACHADO, R. C.; DE SOUZA, H. A.; VERÍSSIMO, G. de S. Analysis of guidelines and identification of characteristics influencing the deconstruction potential of buildings. **Sustainability** (Switzerland), v. 10, n. 8, 2018.

MALLA, P.; XIONG, F.; CAI, G.; XU, Y.; LARBI, A.S.; CHEN, W. Numerical study on the behaviour of vertical bolted joints for precast concrete wall-based low-rise buildings. **Journal of Building Engineering**, 33, 2021.

MARCH, S.T; SMITH, G.F Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, P. 251-266, 1995

MARZOUK, M.; ELMARAGHY, A. Design for deconstruction using integrated lean principles and bim approach. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 1–19, 2021.

MATTARAIA, L.; FABRICIO, M. M.; CODINHOTO, R. Structure for the classification of disassembly applied to BIM models. **Architectural Engineering and Design Management** 2021.

MESA, J.A; ILLERA, D; ESPARRAGOZA, I; MAURY, H; GÓMEZ H. Functional characterisation of mechanical joints to facilitate its selection during the design of open architecture products. **International Journal of Production Research**, 56(24):7390-7404, 2018

MOYNIHAN, M.C; ALLWOOD, J.M. Viability and performance of demountable composite connectors. **Journal of Constructional Steel Research**, 99:47-56, 2014.

NADEEM, G.; SAFIEE, N.A.; BAKAR, N.A.; KARIM, I.A; NASIR, N.A.M. Connection design in modular steel construction: A review. **Structures**, 33:3239-3256, 2021.

O'GRADY, T.M.; MINUNNO, R.; CHONG, H.; MORRISON, G.M. Interconnections: An analysis of disassemblable building connection systems towards a circular economy. **Buildings**, 11(11), 2021

O'GRADY, T; MINUNNO, R; CHONG, H-; MORRISON, G.M. Design for disassembly, deconstruction and resilience: A circular economy index for the built environment. **Resour Conserv Recycl**, 175, 2021

PONGIGLIONE, M.; CALDERINI, C.; D'ANIELLO, M.; LANDOLFO, R. Novel reversible seismic-resistant joint for sustainable and deconstructable steel structures. **Journal of Building Engineering**, v. 35, p. 101989, 1 mar. 2021.

PONGIGLIONE, M.; CALDERINI, C.; GUY, G.B. A new demountable seismic-resistant joint to improve industrial building reparability. **International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment**, 8(3):251-262, 2017

RAJANAYAGAM, H.; POOLOGANATHAN, K.; GATHEESHGAR, P.; VARELIS, G.E; SHERLOCK, P.; NAGARATNAM, B.A-State-Of-The-Art review on modular building connections. **Structures**, 34:1903-1922, 2021

RAKHSHAN, K.; MOREL, J.-C.; ALAKA, H; CHAREF, R.; Components reuse in the building sector – A systematic review. **Waste Management & Research**, vol. 38, 4: pp. 347-370, 2020.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C. DE; SILVA, S.L. DA.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006.

RIBA- **Royal Institute of British Architects DfMA**. Overlay to the RIBA Plan of Work. Disponível em: <<https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/resources-landing-page/dfma-overlay-to-the-riba-plan-of-work>>. Acesso em: maio 2022.

SALAZAR, L. A.; ARROYO, P .; ALARCÓN, L. F. Key Indicators for Linguistic Action Perspective in the Last Planner® System. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8728, 2020.

SALAZAR, L. A.; ARROYO, P .; ALARCÓN, L. F. Development of a Commitment Management System for Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 148, 2022.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3th ed. Cambridge: MIT Press, 1996

SINIR+. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 1 out. 2022.

SPEER, B. G. **Masonry reinforcement system**. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US8667750B2/en?q=plug+mortarless&oq=plug+in+mortarless+>>. Acesso em: 5 jun. 2022

SOLAIMANI, S.; SEDIGHI, M. Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, 2020.

TÖBBEN, J.; OPDENAKKER, R.. Developing a Framework to Integrate Circularity into Construction Projects. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5136, 2022.

UY, B.; PATEL, V.; LI, D.; ASLANI, F. Behaviour and Design of Connections for Demountable Steel and Composite Structures. **Structures**, 9:1-12, 2017.

VARELA S.; SAIIDI M. Resilient deconstructible columns for accelerated bridge construction in seismically active areas. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, 28(13):1751-1774, 2017

VISCUSO S. Coding the circularity. Design for the disassembly and reuse of building components. **Techne**, 22:271-278, 2021

XIAO, J.; DING, T.; ZHANG, Q. Structural behavior of a new moment-resisting DfD concrete connection. **Engineering Structures**, v. 132, p. 1–13, 2017.

XING, W.; HAO, J. L.; QIAN, L.; TAM, V. W. Y.; SIKORA, K. S. Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 124944, 2021.

XU, J.; LU, W. Design for construction waste management. **Sustainable Buildings and Structures: Building a Sustainable**, p. 271-276, 2019

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production**. 1.ed. New York: Rawson Associates, 1990.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIOS COM RESPOSTAS DA PESQUISA RESPONDIDA PELO PÚBLICO GERAL

QUESTIONÁRIO ENVIADO PARA O PÚBLICO EM GERAL

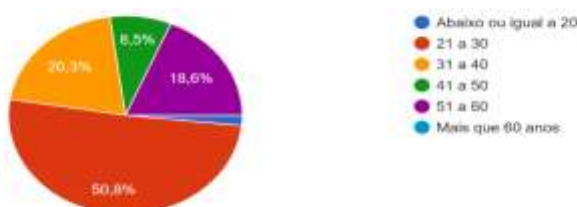
Esse questionário tem finalidade acadêmica e faz parte de uma pesquisa que deseja conhecer a preferência das pessoas quanto aos tipos de moradias e aos tipos de materiais usados em sua construção.

Você não levará mais que 5 minutos para responder as questões, e não será divulgado nenhum dado pessoal. As informações fornecidas serão usadas de forma estatística e coletiva.

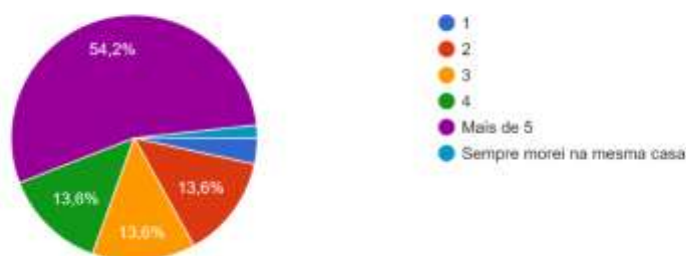
Estes dados serão utilizados no projeto de pesquisa da aluna Drielly Pena Cesar orientada pelo prof. Dr. José Garcia Herмосilla do Programa de Mestrado Profissional de Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara/UNIARA, cujo tema é desenvolvimento de produto para construção civil com função desmontável.

E-mail _____

1. Qual a sua faixa etária?
59 respostas

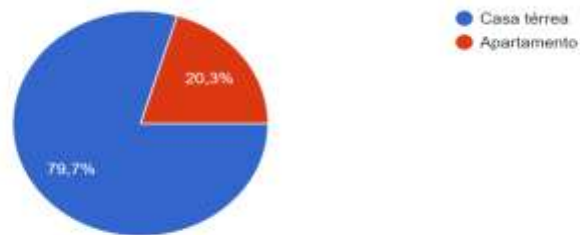


2. Em quantas casas diferentes já morou ao longo de sua vida?
59 respostas



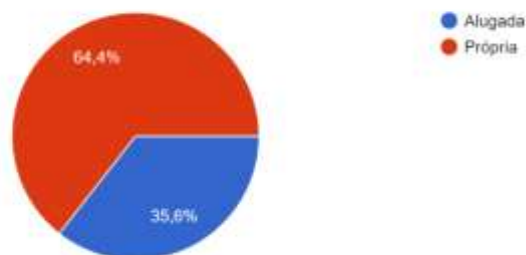
3. Você prefere morar em casa térrea ou apartamento?

59 respostas

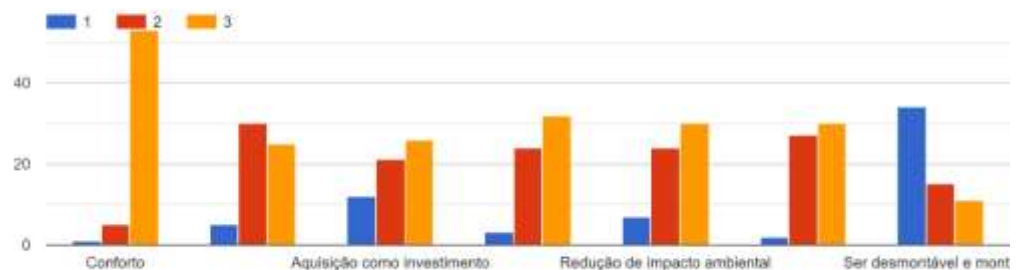


4. A casa em que vive é própria ou alugada?

59 respostas

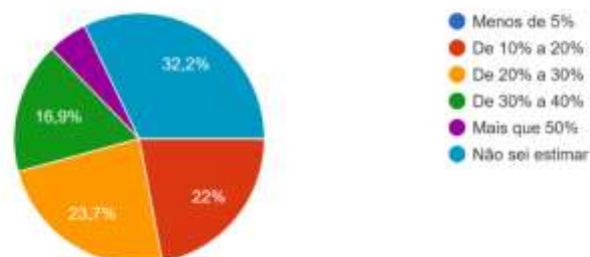


5. Avalie o grau de importância dos seguintes aspectos ao comprar uma casa.



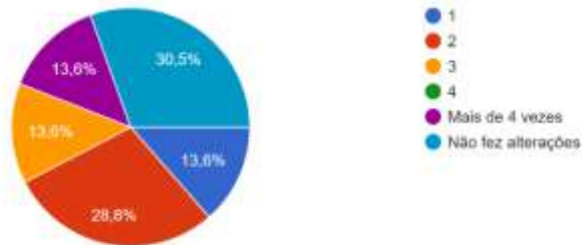
6. Você poderia estimar a porcentagem de desperdício gerado para construção de uma casa, considerando o sistema construtivo convencional?

59 respostas



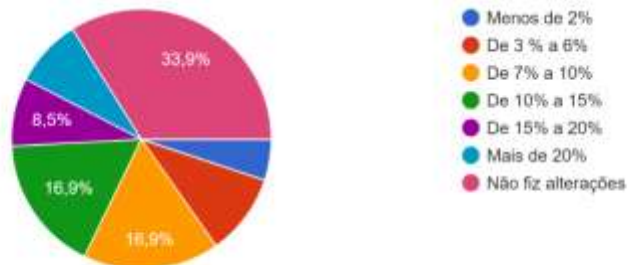
7. Nos últimos 10 anos quantas reformas você já realizou nas residências que você já morou, seja própria ou alugada?

59 respostas



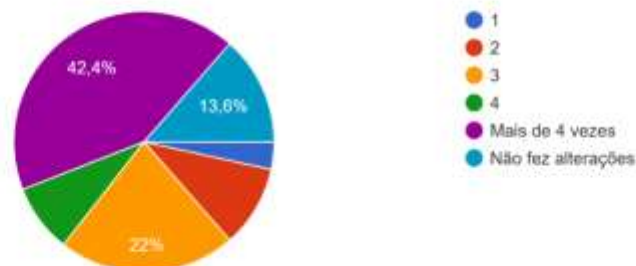
8. Levando em consideração os valores que já gastou em reformas, qual a porcentagem gasta em relação ao valor de construção do imóvel?

59 respostas



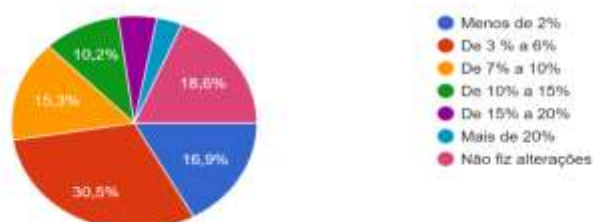
9. Nos últimos 10 anos quantos reparos você já realizou nas residências que você já morou, seja própria ou alugada?

59 respostas



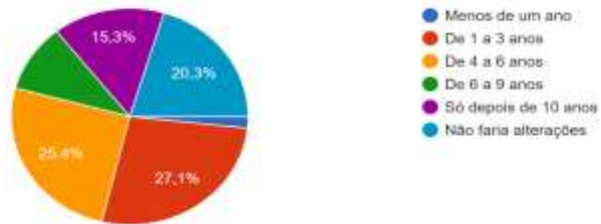
10. Levando em consideração os valores que já gastou em reparos, qual a porcentagem gasta em relação ao valor de construção do imóvel?

59 respostas



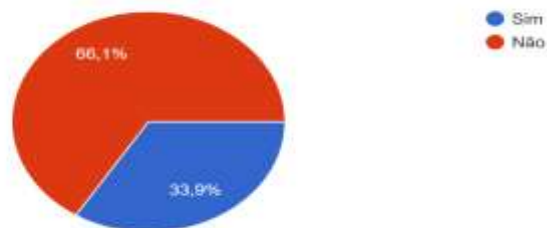
11. Quanto tempo você acha que ficaria em uma casa sem alterá-la (disposição de cômodos ou até mesmo ampliá-la)?

59 respostas



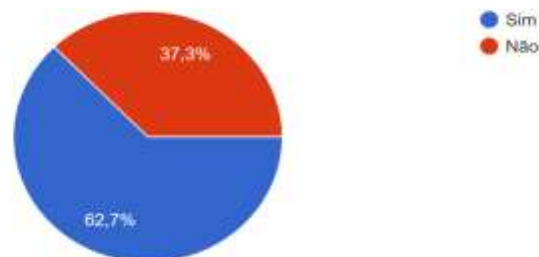
12. Você já ouviu falar em casa montável e desmontável?

59 respostas



13. Você moraria em uma casa que fosse desmontável?

59 respostas



14. Qual ou quais os motivos de NÃO morar em uma casa desmontável? *

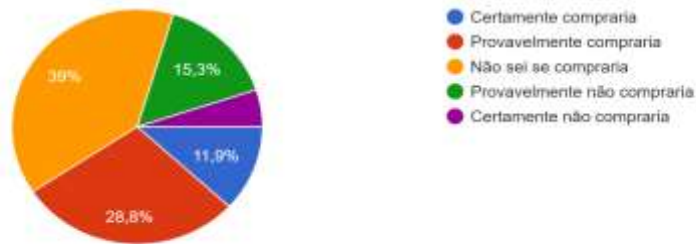
Texto de resposta longa

15. Qual ou quais os motivos fariam você MORAR em uma casa desmontável? *

Texto de resposta longa

16. Qual a probabilidade de você comprar uma casa montável e desmontável?

59 respostas

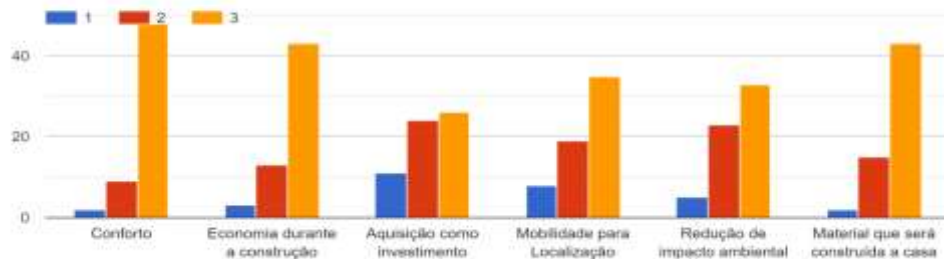


17. Se fosse investir em imóvel desse modelo, quanto estaria disposto a pagar a mais em comparação a um imóvel construído de forma convencional?

59 respostas



18. Avalie o grau de relevância dos aspectos a seguir se fosse comprar uma casa desmontável e montável.



19. Na sua opinião qual material seria mais adequado para usar em uma casa desmontável?

59 respostas



- Não sei avaliar p
- Tijolos seria melhor, mas n sei se dava certo
- Metálica com EPS

APÊNDICE B - RELAÇÃO DOS TRABALHOS IDENTIFICADOS NA REVISÃO DA LITERATURA NA SEGUNDA E QUARTA COMBINAÇÃO

Esse quadro é um resumo dos trabalhos selecionados durante a revisão bibliográfica, referente a segunda combinação: "Demountable Connection" OR "Building prefabricated" OR "Design for Disassembly", o que resultou 21 trabalhos, relacionados abaixo no quadro 6:

Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação

Título	Autores	Contextualização	Publicado
1-Conexões desmontáveis de estruturas de concreto armado: Revisão e desenvolvimentos futuros	(FIGUEIRA <i>et al.</i> , 2021)	O artigo apresenta aplicações do DFD na construção de concreto para ligação seca e semisseca, além disso o artigo conclui que conexões secas entre elementos estruturais ainda são muito escassas.	Structures
2-Design para desmontagem, desconstrução e resiliência: um índice de economia circular para o ambiente construído	(O'GRADY <i>et al.</i> , 2021b)	O artigo apresenta um método chamado 3DR, com os princípios da economia circular, o método faz uma análise das conexões para saber se a construção será desmontada e se seus componentes serão reutilizados, reciclados ou aterrados	Resources, Conservation and Recycling
3-Um método misto para medir incompatibilidades entre abordagens de fabricação e construção fora do local	(LUO; ZHANG; SHER, 2021)	A pesquisa enumera diferenças entre a indústria automobilística (manufatura) e a indústria da construção fora do local (OSC) e ações de semelhança que é "pré-fabricar" e "montar" com grande integração no design.	Engineering, Construction and Architectural Management
4-Codificando a circularidade. Projeto para desmontagem e reaproveitamento de componentes de construção	(VISCUSO, 2021)	O artigo examina a possibilidade de incluir também as principais condições que possibilitam a desmontagem seletiva dos elementos e seu reaproveitamento no final da vida útil	Techne

Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação

(Continuação)

Título	Autores	Contextualização	Publicado
5-Projetando uma conexão de aço com muita desmontagem: uma experiência baseada na prática	(INCELLI; CARDELLICCHIO, 2021)	Estudo de viabilidade de uma conexão estrutural, com os princípios do DfD, para aumentar um andar na Escola de Arquitetura e Planejamento de Kent (KSAP) no Reino Unido	Techne
6-Nova articulação resistente a sísmica reversível para estruturas metálicas sustentáveis e desconstruíveis	(PONGIGLIONE <i>et al.</i> , 2021)	Este artigo apresenta uma nova ligação de viga-coluna, de elementos de aço, que pode ser totalmente desmontada de forma reversível	Building Engineering
7-Padronização: Um facilitador essencial para a reutilização circular de componentes de construção? Uma trajetória para uma indústria de construção europeia mais limpa	(ANASTASIADES <i>et al.</i> , 2021b)	O artigo apresenta a ISO 20887 de padronização como facilitador essencial para o Reuso circular no setor de construção.	Journal of Cleaner Production
8-Estrutura para classificação de desmontagem aplicada a modelos BIM. (Artigo Brasileiro)	(MATTARAIA ; FABRICIO; CODINHOTO, 2021)	Propõe um sistema de classificação desmontável	Architectural Engineering and Design Management
9-Estudo numérico do comportamento de juntas verticais aparafusadas para edifícios baixos pré-fabricados de concreto armado.	(MALLA <i>et al.</i> , 2021)	O artigo propõe um modelo simplificado para prever a capacidade de cisalhamento das juntas aparafusadas	Journal of Building Engineering
10-A Conexão desmontável para estruturas de concreto pré-moldado baixo com DfD para sustentabilidade da construção- Um teste preliminar sob cargas cíclicas	(CAI <i>et al.</i> , 2019)	O trabalho investigou comportamento cíclico de juntas aparafusadas constituídas por três blocos de concreto armado com parafusos de aço sob compressão axial	Sustainability
11-Sistema analítico de desmontagem e desconstrução (D-DAS) para construção em uma economia circular	(AKANBI <i>et al.</i> , 2019)	O estudo apresenta uma análise de desmontagem e desconstrução para avaliação de desempenho do fim de vida da construção a partir da fase de projeto.	

Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação

(Continuação)

Título	Autores	Contextualização	Publicado
12-Characterização funcional de juntas mecânicas para facilitar sua seleção durante o projeto de produtos de arquitetura aberta	(MESA <i>et al.</i> , 2018)	O estudo propõe uma caracterização funcional de métodos de junção mecânica para garantir aos clientes uma customização de produtos	Journal of Production Research
13-Usando análise de rede e BIM para quantificar o impacto do Design for Disassembly	(DENIS; VANDERVAE REN; TEMMERMAN, 2018)	A pesquisa desenvolve um novo método chamado Análise de rede de desmontagem (DNA) para quantificar o impacto do DfD e vinculá-lo a melhorias de projeto para desmontagem	Buildings
14-Benefícios ambientais do ciclo de vida de uma fase de projeto com visão de futuro para edifícios: o estudo de caso de um pavilhão temporário construído para uma exposição internacional	(ARRIGONI <i>et al.</i> , 2018)	Apresenta um pavilhão montado para uso temporário cujo materiais poderiam ser reutilizados. Entretanto, como o segundo uso não foi pré-definido a operação de desmontagem não foi útil para recuperação dos componentes.	Journal of Cleaner Production
15-Salvando materiais de construção em uma economia circular: um estimador de desempenho de vida inteira baseado em BIM	(AKANBI <i>et al.</i> , 2018)	O estudo desenvolve um estimador de desempenho de vida inteira baseado em BIM (BWPE) para avaliar o desempenho de salvamento de componentes estruturais de edifícios desde a fase de projeto	Resources, Conservation and Recycling
16-Projeto de edifícios de concreto para desmontagem: uma revisão exploratória	(SALAMA, 2017)	A pesquisa faz uma revisão da construção atual de edifícios de concreto e conclui que muito longe de atender aos requisitos do DfD. além disso sugere os elementos pré-fabricados como alternativa para capacidade de transformação e potencial de desmontagem.	Journal of Sustainable Built Environment

Quadro 6-Resumos de trabalhos selecionados na segunda combinação

(Conclusão)			
Título	Autores	Contextualização	Publicado
17-Colunas desconstrutíveis resilientes para construção acelerada de pontes em áreas sismicamente ativas	(VARELA; SAIIDI, 2017)	O artigo apresenta um conceito para pilares de pontes composto por módulos pré-moldados para desmontagem	Journal of Intelligent Material Systems and Structures
18-Comportamento e Projeto de Conexões para Estruturas de Aço e Compósitos Desmontáveis	(UY <i>et al.</i> , 2017)	Apresenta ligações viga-viga, coluna-coluna, viga-laje com conexões desmontáveis de peças mistas de aço e concreto	Structures
19-Uma nova junta resistente a sísmica desmontável para melhorar a reparabilidade de edifícios industriais	(PONGIGLIONE; CALDERINI; GUY, 2017)	Estudos iniciais sobre uma nova ligação de viga-coluna, de elementos de aço, que pode ser totalmente desmontada de forma reversível, esse estudo apresenta continuidade no artigo (PONGIGLIONE <i>et al.</i> , 2021)	International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment
20-Minimização de resíduos através da desconstrução: uma pontuação de avaliação de desconstrutibilidade baseada em BIM (BIM-DAS)	(AKINADE <i>et al.</i> , 2015a)	O Artigo apresenta um modelo para uso do BIM, denominado BIM-DAS para pontuar o grau de desconstrutibilidade do edifício.	Resources, Conservation and Recycling
21-Viabilidade e desempenho de conectores compostos desmontáveis	(MOYNIHAN; ALLWOOD, 2014)	O artigo apresenta três corpos de provas de viga com medidas de 2m, 5m e 10 m com conector desmontável aparafusável	Journal of Constructional Steel Research

Esse quadro é um resumo dos trabalhos selecionados durante a revisão bibliográfica, referente a quarta e última combinação, com as palavras-chave da terceira combinação: "*Design for deconstruction*" OR "*Modular Connection*" OR "*Disassemblable Building*":

Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação

Título	Autores	Contextualização	Publicado
1-Uma revisão de última geração sobre conexões de edifícios modulares	(RAJANAYAGAM <i>et al.</i> , 2021)	Apresenta uma revisão sobre conexões de sistemas construtivos modulares indicando benefícios e limitações	Structures

Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação

(Continuação)

Autores	Autores	Autores	Autores
2-Interconexões: Uma análise de sistemas de conexão de edifícios desmontáveis em direção a uma economia circular	(O'GRADY <i>et al.</i> , 2021a)	Apresenta um estudo de caso de um edifício denominado Legacy Living Lab, com a reutilização de 18 toneladas do aço estrutural existente, e conexões aparafusadas dos módulos para que ele seja desmontado sem criar resíduos de uma conexão quimicamente ligada ou soldada.	Buildings
3-Projeto de conexão em construção modular de aço: uma revisão	(NADEEM <i>et al.</i> , 2021)	A revisão apresenta as características importantes das conexões inter-modulares, como projetos geométricos, desempenhos estruturais e práticas de projeto atuais	Structures
4-Design para desconstrução usando princípios Lean integrados e abordagem BIM	(MARZOUK; ELMARAGHY, 2021)	Apresenta uma proposta de ferramenta baseada na integração de uma ferramenta de plug-in BIM e os princípios enxutos que podem auxiliar no planejamento das fases de desconstrução	Sustainability
5-Fundamentos da Desconstrução de Edifícios como Estratégia de Economia Circular para a Reutilização de Materiais de Construção	(BERTINO <i>et al.</i> , 2021)	O artigo analisa o potencial de desconstrução dos edifícios e as estratégias a aplicar para manter baixos os impactos no ambiente urbano	Applied Sciences
6-Design para desconstrução usando uma abordagem de economia circular: barreiras e estratégias para melhoria	(AKINADE <i>et al.</i> , 2020)	O artigo faz uma revisão da literatura para verificar estratégias a fim de alcançar a economia circular	Production Planning & Control
7-Tomada de decisão de fim de ciclo de vida baseada em BIM e desconstrução digital: revisão da literatura	(AKBARIEH <i>et al.</i> , 2020)	O artigo apresenta um estudo sobre o uso do BIM para minimizar resíduos de construção e demolição	Sustainability

Autores	Autores	Autores	Autores
8-Uma estrutura baseada em BIM para avaliação quantitativa da desconstrutibilidade da estrutura de aço	(BASTA; SERROR; MARZOUK, 2020)	A metodologia proposta leva em consideração uma série de parâmetros do aço e sua desconstrutibilidade.	Automation in Construction
9-Uma Conexão desmontável para estruturas de concreto pré-moldado baixo com DfD para sustentabilidade da construção-Um teste preliminar sob cargas cíclicas	(CAI <i>et al.</i> , 2019)	O trabalho investigou comportamento cíclico de juntas aparafusadas constituídas por três blocos de concreto armado aparafusados por parafusos de aço sob compressão axial	Sustainability
10-Comportamento de juntas viga-pilar de concreto com ligações DfD: Um estudo de simulação com modelagem de interface	(DING; XIAO; KHAN, 2019)	O estudo apresenta uma simulação sobre ligações entre viga-pilar de concreto com projeto para desconstrução (DfD)	Engineering Structures
11-Desempenho estrutural do conector modular VectorBloc de última geração sob cargas axiais	(DHANAPAL <i>et al.</i> , 2019)	O estudo uma conexão para construção modular em aço que utiliza conectores de aço fundido e membros estruturais ocios de aço.	Engineering Structures
12-Design para desconstrução no processo de design: estado da arte	(KANTERS, 2018)	O artigo apresenta o estado da arte dos projetos para desconstrução e como isso afeta o processo de design	Buildings
13-Estudos experimentais e numéricos em projeto para ligações de concreto para desconstrução: uma visão geral	(DING <i>et al.</i> , 2018)	O artigo apresenta ligações de concreto pré-moldado viga a pilar e ligações de concreto viga a viga para projetos de sistemas de desconstrução	Advances in Structural Engineering

Quadro 7-Resumos de trabalhos selecionados na quarta combinação

(Conclusão)

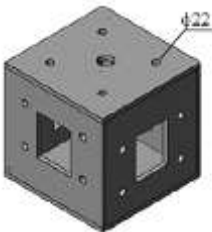
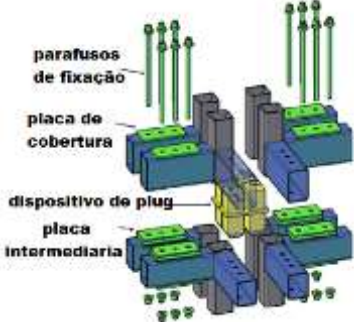
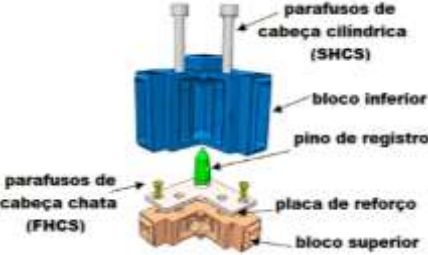
Autores	Autores	Autores	Autores
14-Análise de diretrizes e identificação de características que influenciam o potencial de desconstrução de edifícios	(MACHADO; SOUZA; SOUZA, 2018)	Nesse artigo é realizado uma revisão da literatura afim de avaliar a diretriz do DfD.	Sustainability
15-Energia do ciclo de vida e benefícios ambientais de novos sistemas estruturais projetados para desconstrução em edifícios de aço	(ECKELMAN <i>et al.</i> , 2018)	Além de discutir o conceito do DfD em construções modulares e pré-fabricadas o artigo avalia um novo sistema de piso DfD.	Building and Environment
16-Ferramenta de desconstrução baseada em BIM: Rumo a funcionalidades essenciais	(AKINADE <i>et al.</i> , 2017c)	O estudo descreve as direções futuras do DFD e a falta de incompatibilidade do BIM com o DFD	International Journal of Sustainable Built Environment
17-Design para desconstrução (DfD): Fatores críticos de sucesso para desviar os resíduos em fim de vida dos aterros sanitários	(AKINADE <i>et al.</i> , 2017b)	Revisão da literatura na área de construção sustentáveis e estratégias de redução de resíduos de construção, além uma pesquisa exploratória usando discussões de Grupos Focais para identificar fatores que influenciam condições que permitem o sucesso do DfD.	Waste Management
18-Comportamento estrutural de uma nova ligação de concreto DfD resistente a momentos	(XIAO; DING; ZHANG, 2017)	Uma ligação simples de concreto DfD resistente a momentos para juntas de pórtico de concreto foi proposta neste estudo.	Engineering Structures
19-Uma avaliação de impacto ambiental baseada em agentes da gestão de resíduos de demolição de edifícios: gestão convencional versus gestão verde	(DING; WANG; ZOU, 2016)	O artigo descreve sobre os métodos que o design do projeto orientado para desconstrução tem pode reduzir os resíduos de construção e demolição em pelo menos 50%.	Journal of Cleaner Production
20-Projeto de ciclo de vida e pré-fabricação em edifícios: uma revisão e estudos de caso em Hong Kong	(JAILLON; POON, 2014)	Revisão sobre benefícios e dificuldade de implementação do projeto para desconstrução em sistemas construtivos	Automation in Construction

Fonte: Próprio autor

APÊNDICE C - CONEXÕES IDENTIFICADAS NAS REVISÕES

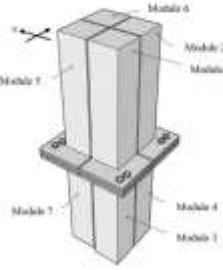
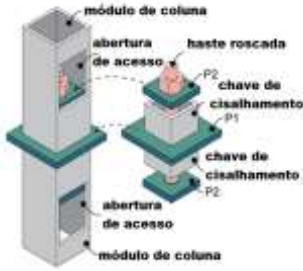
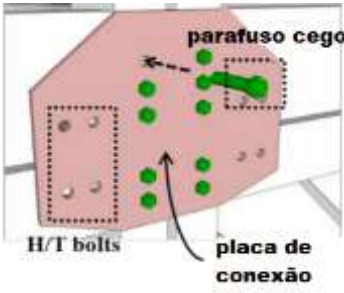
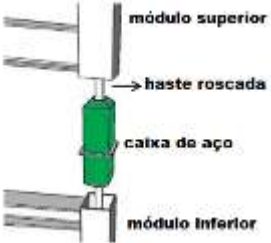
Rajanayagam et al. (2021) sintetiza, em sua revisão sobre o estado da arte das conexões modulares, as principais conexões utilizadas dessas três categorias, conforme o quadro 3, além disso, foi incorporado nesse quadro 8 outras conexões encontradas durante a revisão bibliográfica.

Quadro 8 - Conexões modulares segundo Rajanayagam *et al.* (2021)

Conexão Referência	Tipo	Ilustração	Recursos de conectividade
Conexão de suporte de aço Hwan Doh et al.	Inter e/ ou Intra-modular		Conexão inter-modular aparafusada com esquadro de aço seção oca; ▪ Fornece conectividade vertical e horizontal.
Conexão estabelecida com dispositivo de plug-in Chen et al.	Inter-Modular		Compreende o sistema de parafusos de alta resistência à tração viga a viga para conexões verticais e dispositivos de encaixe fundidos para conexões horizontais. ▪ Fornece conectividade vertical e horizontal.
Sistema de conexão VectorBloc Dhanapal et al.	Inter e/ ou Intra-modular		Fundições de canto serão fixadas por meio de montagem aparafusada e placas de transferência fixadas nas peças fundidas dos cantos. ▪ Fornece conectividade vertical e horizontal.

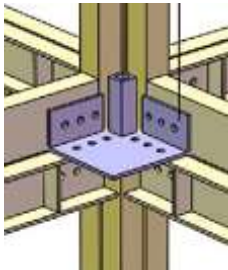
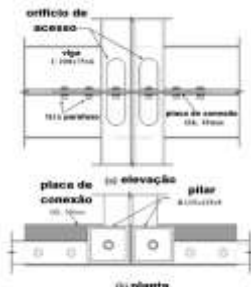


Quadro 8 - Conexões modulares segundo Rajanayagam *et al.* (2021)

(Continuação)

Conexão Referência	Tipo	Ilustração	Recursos de conectividade
Placa final aparafusada complexa Sendanayake	Inter-Modular		<p>Formam uma conexão entre módulos adjacentes e são capazes de transferir forças verticais e laterais às quais os módulos com suporte de canto podem ser submetidos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Para permitir que as conexões sejam extremamente eficientes sob cargas flutuantes, parafusos de aperto de fricção de alta resistência são usados
Conexão inter-modular vertical pós-tensionada Lacey et al.	Inter-Modular		<p>Haste roscaada pré-tensionada passa pelas colunas dos módulos e por uma chave de cisalhamento plug-in e é ancorada na zona de interconectividade por meio de orifícios de acesso.</p> <ul style="list-style-type: none"> Fornece conectividade vertical.
Conexão cega aparafusada entre unidades modulares por Cho et al.	Inter-Modular		<p>Conexão completa com placa de conexão. Parafusos cegos e de alta tensão (H/T) utilizados.</p> <ul style="list-style-type: none"> Fornece conectividade vertical e horizontal.
Conexão vertical pós-tensionada Sanches e Mercan	Inter-Modular		<p>A haste roscaada pós-tensionada passa pelas colunas dos módulos, ancorada nas extremidades de uma pilha de módulos.</p> <ul style="list-style-type: none"> Fornece conectividade vertical.

Quadro 8 - Conexões modulares segundo Rajanayagam *et al.* (2021)


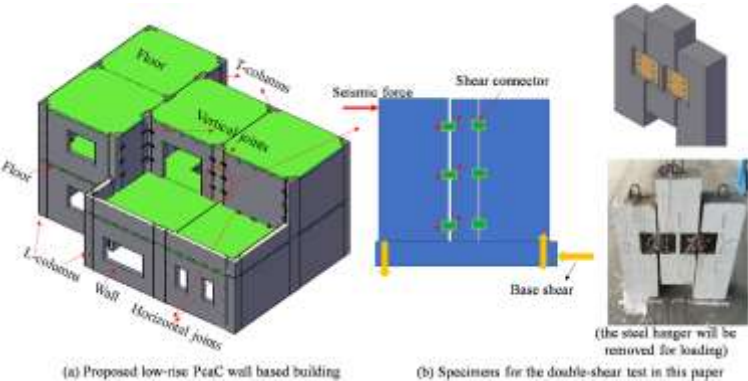
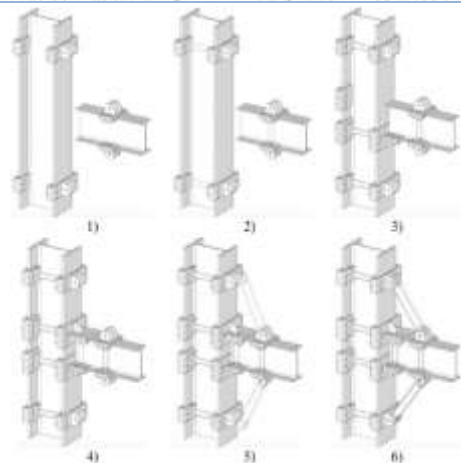
(Conclusão)

Conexão Referência	Tipo	Ilustração	Recursos de conectividade
Conexão aparafusada com espiga em forma de foguete Deng <i>et al.</i>	Inter e/ ou Intra-modular		Conexão aparafusada completa com tendões em forma de foguete conectados à placa de reforço. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fornece conectividade vertical e horizontal.
Conexão aparafusada Choi, Lee e Kim	Inter e/ ou Intra-modular		Conexão aparafusada completa com módulo empilhado em conjunto parafusos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fornece conectividade vertical e horizontal.
Conexão de juntas de intertravame no Sharafi <i>et al.</i>	Inter-Modular		Conexão com tiras de conexão integradas que é um par de juntas de intertravamento. Sistema de articulação mecânica de fácil encaixe e travamento automático. <ul style="list-style-type: none"> ▪ O movimento relativo nas principais direções de translação, bem como a rotação, é evitado.
Conector de amarração de canto Yu e Chen	Inter-Modular		Fornece conectividade vertical e horizontal. Acessórios de canto montados horizontalmente conectados por placas intermediárias e acessórios de canto dispostos verticalmente amarrados por meio de parafusos

Fonte: Traduzido de Rajanayagam *et al.* (2021)

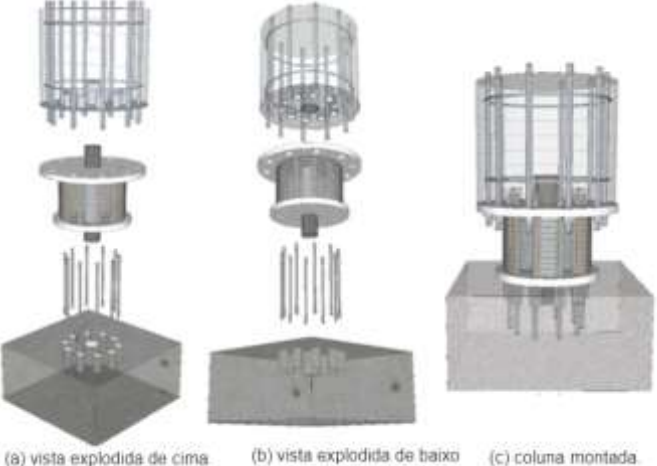
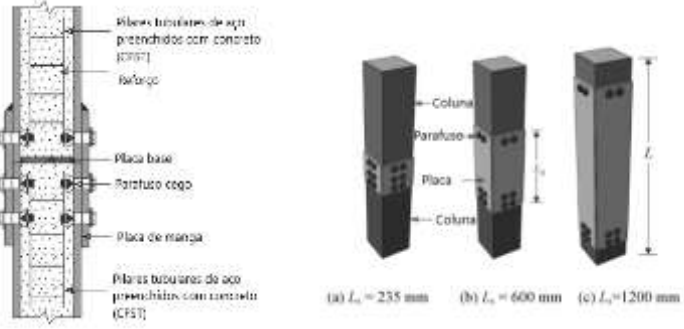
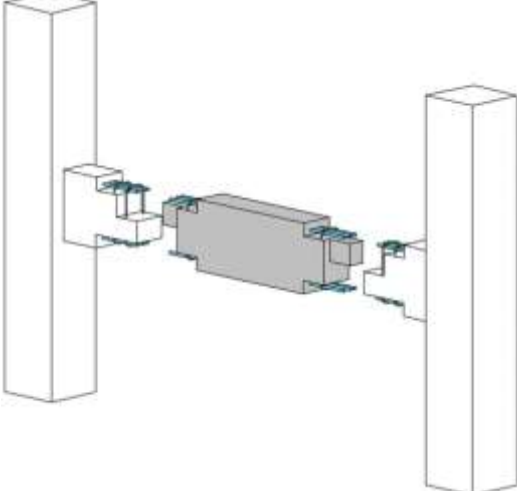
Durante a revisão da literatura foram encontrados outros tipos de conexões utilizadas para chegar em um sistema construtivo desmontável apresentados no quadro 9 abaixo:

Quadro 9-Outras conexões encontradas durante a revisão

<p>O estudo apresenta uma ligação, de madeira e aço, viga-pilar, o modelo está em fase de estudo por isso ainda não foi aplicado INCELLI; CARDELLICCHIO, 2021)</p>	
<p>Estudo sobre o comportamento cíclico da conexão de juntas aparafusadas (MALLA <i>et al.</i>, 2021)</p>	
<p>O estudo apresenta a montagem de uma viga-coluna, feita de aço, que não apresenta ligações químicas apenas conexões parafusadas, entretanto esta conexão usa mais componentes, ocasionando maiores custos e com um projeto estrutural mais complexo - (PONGIGLIONE <i>et al.</i>, 2021; PONGIGLIONE; CALDERINI; GUY, 2017)</p>	

Quadro 9 -Outras conexões encontradas durante a revisão

(Conclusão)

<p>O artigo apresenta uma coluna pré-fabricada, preenchida de concreto, com dobradiças plásticas na base para desmontagem (VARELA; SAIIDI, 2017)</p>	 <p>(a) vista explodida de cima (b) vista explodida de baixo (c) coluna montada</p>
<p>O estudo apresenta conexões de colunas conectadas com placa de manga, pré-soldadas, e parafusos cegos, que se estende além da base da coluna. (UY et al., 2017)</p>	 <p>(a) $L_c = 235 \text{ mm}$ (b) $L_c = 600 \text{ mm}$ (c) $L_c = 1200 \text{ mm}$</p>
<p>O estudo apresenta uma ligação de concreto por soldagem com características desmontáveis Xiao et al. (2017)</p>	

Fonte: Próprio autor