

Universidade Federal do Rio de Janeiro

PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
UMA ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS POR REVISÃO SISTEMÁTICA

Frederico Zanette Silva

2024



PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
UMA ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS POR REVISÃO SISTEMÁTICA

Frederico Zanette Silva

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Profa. Mayara Amario

Rio de Janeiro
Agosto de 2024

PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
UMA ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS POR REVISÃO SISTEMÁTICA

Frederico Zanette Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

Profa. Mayara Amario, D.Sc.

Profa. Carina Mariane Stolz, D.Sc.

Eng. Leandro Souza da Silva, M.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2024

Zanette Silva, Frederico

Z852e PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS
RELACIONADAS AOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO: UMA ANÁLISE DOS ASPECTOS
AMBIENTAIS POR REVISÃO SISTEMÁTICA /
Frederico Zanette Silva. -- Rio de Janeiro, 2024.
80 f.

Orientador: Mayara Amario.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
Politécnico, Bacharel em Engenharia Civil, 2024.

1. Construção sustentável. 2. Materiais de
Construção. 3. Sustentabilidade. 4. Impacto
ambiental. I. Amario, Mayara , orient. II. Título.

CIP - Catalogação na Publicação

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a
responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Nilcéia, que sempre confiou em mim, me deu apoio e suporte, chorou comigo minhas dores e mágoas, sorriu desde as mais simples e pequenas conquistas e vibrou em cada sonho realizado. Que, mesmo com medo, e sem a certeza de que daria certo, deu apoio a seu filho, de 19 anos, que ali mudaria - de cidade e de vida - para sempre. Que segurou a barra e nunca sequer pensou em desistir. E não me deixou desistir. Que com palavras calmas sempre me fez entender que tudo passa, e que iria ficar tudo bem. E ficou tudo bem, passou. Minha eterna gratidão por ser tão grande em tantos aspectos. Se hoje eu sou quem sou, a maior parte foi por você.

À minha irmã, Cecília, que sempre esteve ao meu lado, sendo meu guia. Você sempre me levantou e me mostrou que eu era capaz, isso me manteve forte.

Ao meu pai, Dôca, e meu irmão, Matheus, mesmo com o jeito duro de ser, eu sempre senti o amor de vocês. Vocês me mantiveram nas minhas raízes.

Às minhas tias, tios e primos cariocas, que me deram colo e foram abrigo desde o começo, e ainda são. Vocês me fizeram sentir em casa, quando eu me sentia só.

A toda minha grande família, que nunca deixou de me dar amor e carinho, mesmo que de longe, e sorriram comigo todas as minhas conquistas. Obrigado por serem minha base.

Aos meus amigos mineiros, os de casa, que sempre mantiveram o posto de melhores amigos, independente da distância. Obrigado por nunca soltarem a minha mão. Vocês são os grandes amores da minha vida.

Aos amigos cariocas que construí aqui, vocês fizeram parte da minha evolução, e são parte de quem eu sou hoje. Secaram minhas lágrimas, me abraçaram pra seguir juntos, e me fizeram viver meus melhores momentos na universidade e na nova vida.

Ao meu Deus, minha força quando eu não tinha mais nada, mesmo sempre tendo tudo. Minhas orações sempre foram ouvidas, e nunca deixei de agradecer.

Ao Fred de 19 anos que tinha um sonho, e nunca desistiu de tentar e persistir. Hoje eu queria te abraçar, e te dizer sorrindo que nós conseguimos. E ainda iremos muito além.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS RELACIONADAS AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO:
UMA ANÁLISE DOS ASPECTOS AMBIENTAIS POR REVISÃO SISTEMÁTICA

Frederico Zanette Silva

Agosto/2024

Orientadora: Mayara Amario

Curso: Engenharia Civil

A indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis pelo consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos, o que contribui significativamente para o impacto ambiental global. Com o aumento da demanda por novas construções devido ao crescimento populacional e à urbanização, torna-se urgente adotar práticas sustentáveis que minimizem esses impactos. O objetivo principal deste trabalho é analisar os materiais de construção disponíveis no mercado, considerando seus aspectos ambientais, para promover práticas mais sustentáveis na construção civil através de uma revisão sistemática. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa com objetivo descritivo, incluindo uma revisão bibliográfica sistemática realizada em bases de dados como Scifinder, ACM Digital Library, SciELO, Google Acadêmico e Periódicos CAPES, utilizando palavras-chave específicas e limitando a busca a publicações dos últimos 10 anos (2013-2023). Conclui-se que os materiais sustentáveis identificados oferecem alternativas viáveis e eficientes para a construção civil, contribuindo significativamente para a redução dos impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade, destacando a importância da adoção de práticas sustentáveis e a necessidade de políticas públicas eficazes e incentivos econômicos para aumentar a utilização desses materiais.

Palavras-chave: Construção sustentável; Materiais de Construção; Sustentabilidade; Impacto ambiental.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Sustainable practices related to construction materials: an analysis of environmental aspects through a systematic review
Frederico Zanette Silva

August/2024

Advisor: Mayara Amario

Course: Civil Engineering

The construction industry is one of the largest contributors to the consumption of natural resources and the generation of waste, significantly impacting the global environment. With the increasing demand for new constructions due to population growth and urbanization, adopting sustainable practices that minimize these impacts becomes urgent. The primary objective of this work is to analyze the construction materials available in the market, considering their environmental aspects, to promote more sustainable practices in the construction industry. The research adopts a qualitative approach with a descriptive objective, including a systematic literature review conducted in databases such as Scifinder, ACM Digital Library, SciELO, Google Scholar, and CAPES Journals, using specific keywords and limiting the search to publications from the last 10 years (2013-2023). It concludes that the identified sustainable materials offer viable and efficient alternatives for the construction industry, significantly contributing to reducing environmental impacts and promoting sustainability, highlighting the importance of adopting sustainable practices and the need for effective public policies and economic incentives to increase the use of these materials.

Keywords: Sustainable construction; Building materials; Sustainability; Environmental impact

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida dos materiais.....	23
Figura 2 - Relação direta entre o meio ambiente construído e a natureza, em sistema degenerativo e regenerativo.....	27
Figura 3 - Certificação de madeira	40
Figura 4 - Tijolo ecológico	43
Figura 5 - Concreto reciclado	45
Figura 6 - Isolamento térmico com lã.....	47
Figura 7 - Isolamento térmico com lã.....	47
Figura 8 - Isolamento térmico com Celulose	48
Figura 9 - Isolamento térmico com fibra de coco.....	48
Figura 10 - Casas com telhas de fibra vegetal.....	50
Figura 11 - Imagem representativa do ciclo de vida do cimento	52
Figura 12 - Pavilhão Japonês de Shigeru Ban	55
Figura 13 - Pavilhão de Papelão, construído para o Melbourne Festival.....	56
Figura 14 - Telhado verde	Erro! Indicador não definido.
Figura 15 - Casa Popular Eficiente da UFSM	59
Figura 16 - Edifício Faria Lima Plaza	61
Figura 17 - CasaE.....	62
Figura 18 - Exemplo de projeto com modelagem BIM.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Referencias utilizadas	35
Quadro 2 - Conceitos de construção sustentável e ecológica para cada autor	37
Quadro 3 - Síntese dos materiais disponíveis no mercado.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACM Association for Computing Machinery
CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAS Chemical Abstracts Service (Associação de Máquinas de Computação)
CC Construção Civil
CE Construção Ecológica
CS Construção Sustentável
ETE Estação de Tratamento de Esgoto
ETA Estação de Tratamento de Águas
ESG Environmental, Social And Governance (Meio Ambiente, Social e Governança)
FSC Forest Stewardship Council
LEED Leadership in Energy and Environmental Design
PEFC Programme for the Endorsement of Forest Certification
RCD Resíduos de Construção e Demolição
UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 MOTIVAÇÃO.....	13
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.4 METODOLOGIA.....	15
1.5 ESTRUTURA DO TEXTO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E O MEIO AMBIENTE.....	18
2.1.1 Contribuições econômicas e sociais da construção civil.....	18
2.1.2 Construção Sustentável (CS)	19
2.1.3 Construção Ecológica (CE).....	20
2.2 O CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	22
2.2.1 Meio Ambiente, Social e Governança - ESG (Environmental, Social And Governance)	25
2.2.2 Inovações metodológicas tecnológicas da indústria da construção.....	25
3 METODOLOGIA	28
3.1 ORGANIZAÇÃO DE DADOS.....	29
3.2 BASE DE DADOS E BUSCAS.....	30
3.3 CRITÉRIOS DE BUSCA	31
3.3.1 Critérios de Inclusão	31
3.3.2 Critérios de Exclusão	31
3.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
3.5 ANÁLISE DE DADOS	33
4 RESULTADO E DISCUSSÕES	35
4.1 OS CONCEITOS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E CONSTRUÇÃO ECOLÓGICA	36
4.2.1 Madeira certificada	40
4.2.2 Tijolos ecológicos	42
4.2.3 Concreto reciclado	45
4.2.4 Isolamento Térmico com Materiais Naturais	46
4.2.5 Telhas de fibra vegetal	50
4.2.6 Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal	51
4.2.7 Tubos de papelão	53
4.2.8 Telhados Verdes.....	Erro! Indicador não definido.
4.2.9 Síntese dos materiais disponíveis no mercado	56

4.3 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS: ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO	58
4.3.1 A Casa Popular Eficiente da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)	58
4.3.2 Tecnologia Construtiva de Baixo Carbono (TCBC)	60
4.3.3 Modelagem BIM	62
4.3.4 Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil	65
4.4 METODOLOGIAS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS	67
5 CONCLUSÃO	72
5.1 RESULTADOS DA PESQUISA	72
5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Considerando que os ecossistemas estão constantemente se modificando e formando novos ecossistemas, frequentemente os ecossistemas originais são completamente danificados devido à influência das atividades humanas. Com o aumento da globalização, do crescimento populacional e do consumo excessivo de matérias-primas, a demanda por recursos naturais cresceu significativamente. Isso impacta diretamente diversas formas de vida no planeta e resulta na produção alarmante de resíduos sólidos (Marín-Beltrán *et al.*, 2021).

O volume de resíduos sólidos oriundos da área da construção civil tem gerado crescente preocupação mundial e ambiental, pois estes resíduos são produzidos nas mais diversas fases da cadeia de processamento, em escala de milhões de toneladas por dia em todo o mundo. No Brasil, por exemplo, foram produzidas cerca de 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição em 2021, representando mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos do país. Apesar do grande potencial de reciclagem, apenas 16% desses resíduos são efetivamente reciclados (Grandisoli, 2022).

Nos Estados Unidos, o volume de resíduos de construção e demolição foi estimado em aproximadamente 600 milhões de toneladas em 2018, com uma taxa de reciclagem de cerca de 76% (UNEP, 2024). Já na União Europeia, os resíduos da construção representam entre 25% e 30% de todos os resíduos gerados, com aproximadamente 374 milhões de toneladas em 2020, dos quais cerca de 50% foram reciclados (Sienge, 2023).

O direcionamento correto de resíduos passou a ser essencial para a preservação de um ecossistema em geral, conseqüentemente, há a necessidade de se desenvolver alternativas que gerem a conscientização e a busca de soluções para a implantação de novas tecnologias capazes de minimizar os impactos ambientais e também reduzir os custos envolvidos na área da construção civil (Sizirici *et al.*, 2021).

A reutilização de resíduos tornou-se essencial como forma de preservação, conservação e redução do consumo de recursos naturais não renováveis do planeta, satisfazendo necessidades populacionais, sem comprometer a sobrevivência das gerações futuras e também do próprio planeta. Para tal, os resíduos sólidos devem ser manejados de acordo com a Norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), que classifica os resíduos quanto à sua periculosidade para o ambiente e a saúde pública. Indica-se ainda a consulta de “Normas Complementares”, das quais

fazem parte a lixiviação (ABNT NBR 10005, 2004b), a solubilização (ABNT NBR 10006, 2004c) e a amostragem de resíduos (ABNT NBR 10007, 2004d).

Na busca por soluções que mitiguem os danos ambientais causados pelo setor da construção civil, este trabalho apresenta dados que evidenciam como essa indústria é uma grande consumidora de recursos naturais.

O setor da construção civil é responsável pelo consumo global de 40% dos recursos naturais e de energia primária, pela emissão de 36% dos gases com efeito estufa (GEE) e pela geração de cerca de 1 bilhão de toneladas por ano de resíduos sólidos (Silva; Almeida, 2021; Lopes *et al.*, 2024).

Simultaneamente, destaca-se o potencial significativo da construção civil para o aproveitamento de resíduos sólidos em materiais de construção, permitindo um destino ambientalmente correto para esses resíduos, que de outra forma poderiam se tornar fontes de poluição da água, do ar ou do solo. Inicialmente o estudo, por meio de uma revisão sistemática da literatura, foca na construção sustentável e emprego de materiais disponíveis no mercado com uma pegada mais ambiental, seguido de uma exemplificação do o emprego de resíduos na produção de blocos e tijolos de cimento ecológicos e argilosos, objetivando avaliar a importância da construção civil como receptora de resíduos sólidos industriais e como agente transformador no reuso de resíduos podendo contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta.

1.2 MOTIVAÇÃO

Dentre muitas perspectivas sólidas, a motivação para a exploração do tema está no fato das construções sustentáveis ser uma temática atual, encontram-se em forte expansão, constituem-se a solucionar demandas de preocupação mundial e otimizam áreas de atividades em forte crescimento. Tais preocupações ambientais e econômicas também emergiram para o desenvolvimento deste trabalho, como a tomada de consciência sobre a modificação no meio ambiente através da construção civil.

Além disso, a motivação para explorar o tema das construções sustentáveis é impulsionada por questões ambientais e econômicas prementes. Ambientalmente, a construção civil desempenha um papel significativo no aquecimento global, na poluição das águas e na eutrofização dos rios, além de contribuir para o elevado consumo energético. Essas preocupações destacam a necessidade urgente de práticas de construção que minimizem impactos negativos no meio ambiente. Do ponto de vista econômico, a análise de custos e

benefícios revela que o uso de materiais sustentáveis pode inicialmente aumentar o custo de construção. No entanto, é crucial considerar a amortização desses custos ao longo do tempo, avaliando se o investimento em soluções sustentáveis se paga através de economias em manutenção, eficiência energética e outros benefícios ao longo dos anos. Essas reflexões são fundamentais para compreender a viabilidade e a importância das práticas sustentáveis na construção civil.

Dentro dessa perspectiva de estudo, exaltou-se a utilização de sistemas disponíveis para o desenvolvimento de atividades do meio, considerando a busca por fontes renováveis e técnicas construtivas que possam mitigar os impactos ambientais provocados pela área da construção civil, através de levantamentos de dados apontando as principais inovações e melhorias que a área precisa buscar para fornecer padrões de qualidade e ao menos diminuir o impacto ambiental.

A construção civil no Brasil e no Mundo vem sofrendo grandes avanços nas últimas décadas, e com essa aceleração abre-se novas oportunidades de investimentos, tais como novas propostas inovadoras consideráveis.

Dado essa grande desenvoltura têm-se como resultado a busca por novas tecnologias e produtos já disponíveis, para qual a necessidade de discutir a importância do tema e o seu significado. Partiu-se do pressuposto que há uma enorme necessidade de promover a produtividade e qualidade de construções sustentáveis, usando materiais disponíveis no mercado e reutilizando materiais que seriam descartados, a fim de diminuir o impacto ambiental causado pela ação da indústria da construção.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é apresentar conceitos e materiais que melhorem a relação da engenharia civil com o meio ambiente, por meio das construções sustentáveis, usando os materiais disponíveis no mercado, com a finalidade de diminuir o impacto ambiental, através de revisão sistemática.

Como objetivos específicos destacam-se:

- a) Analisar e identificar os conceitos mais amplamente utilizados para "construção sustentável" e "construção ecológica", comparando suas definições, princípios e aplicabilidade no setor da construção civil;

- b) Investigar os materiais de construção disponíveis no mercado que são considerados sustentáveis, avaliando seus impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte ou reciclagem;
- c) Avaliar os principais benefícios ambientais, sociais e econômicos das construções sustentáveis, demonstrando como essas práticas podem contribuir para o desenvolvimento sustentável e para a melhoria da qualidade de vida nas comunidades.

1.4 METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa com um objetivo descritivo, que visa explorar e analisar os materiais de construção disponíveis no mercado, considerando seus aspectos ambientais. A escolha por uma abordagem qualitativa se justifica pela necessidade de entender profundamente os benefícios, desafios e aplicações práticas dos materiais sustentáveis na construção civil, proporcionando uma visão abrangente e detalhada do tema.

Para garantir a profundidade e a abrangência da análise, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Este método permite identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas relevantes disponíveis sobre os materiais sustentáveis na construção civil.

A abordagem qualitativa descritiva permitiu explorar em profundidade as experiências e percepções dos profissionais da construção civil sobre a utilização de materiais sustentáveis.

A combinação da revisão sistemática da literatura com a coleta de dados qualitativos permitiu uma compreensão abrangente e detalhada do tema, fornecendo informações para a promoção de práticas mais sustentáveis na construção civil.

1.5 ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho está organizado de maneira sistemática para explorar detalhadamente os materiais de construção disponíveis no mercado que consideram aspectos ambientais, promovendo práticas sustentáveis na construção civil. A estrutura do texto foi elaborada para guiar o leitor desde a contextualização inicial até a análise aprofundada e discussão dos resultados.

No primeiro capítulo, a Introdução estabelece o contexto e a relevância do estudo, ressaltando a importância de práticas sustentáveis na construção civil devido aos significativos impactos ambientais causados pelo setor. Nesta seção, são apresentados a contextualização do cenário atual da construção civil e a necessidade de práticas sustentáveis para mitigar impactos

ambientais, as razões pessoais e acadêmicas que motivaram a realização deste estudo, e a definição clara do objetivo principal e dos objetivos específicos do trabalho.

No segundo capítulo, a Revisão Bibliográfica fundamenta o estudo com base em pesquisas anteriores e literatura relevante. Esta seção está dividida em subtemas que abrangem os principais conceitos e práticas da construção sustentável, incluindo a definição, características e princípios da construção sustentável, como eficiência energética, uso de materiais ecológicos e gestão eficiente da água. Também é abordada a construção ecológica, com enfoque na integração harmoniosa das edificações com o ambiente natural, uso de materiais locais e reciclados, e sistemas de energia passiva. Além disso, são discutidas certificações e padrões como LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e FSC (*Forest Stewardship Council*), que garantem a sustentabilidade dos materiais de construção.

No terceiro capítulo, de metodologia, são detalhados os métodos e procedimentos adotados para a realização da pesquisa, incluindo a descrição da abordagem qualitativa com objetivo descritivo e a estrutura geral da pesquisa. As estratégias de busca nas bases de dados como Scifinder, ACM Digital Library, SciELO, Google Acadêmico e Periódicos CAPES, incluindo palavras-chave específicas e período de tempo, são apresentadas, assim como a metodologia para a organização e análise dos dados obtidos, incluindo a classificação por ano, organização temática e relevância dos dados.

No quarto capítulo, Resultados e Discussão, apresenta as descobertas da pesquisa, organizadas de forma a facilitar a compreensão dos diferentes materiais de construção sustentáveis disponíveis no mercado. Esta seção é subdividida em identificação dos materiais, onde são descritos detalhadamente materiais como madeira certificada, tijolos ecológicos, concreto reciclado, isolantes térmicos naturais e telhas de fibra vegetal, a avaliação dos benefícios ambientais, econômicos e sociais de cada material, bem como os desafios associados à sua adoção, e exemplos de aplicação, discutindo casos práticos e exemplos de projetos que utilizam materiais sustentáveis, demonstrando sua viabilidade e eficiência.

Por fim, o último capítulo, a conclusão sintetiza os principais pontos discutidos ao longo do trabalho, reafirmando a importância dos materiais sustentáveis na construção civil e a necessidade de políticas públicas e incentivos econômicos para promover sua utilização. Esta seção inclui a síntese dos resultados, com um resumo das principais descobertas e conclusões do estudo, a discussão das contribuições do trabalho para o campo da construção sustentável, e sugestões de áreas para futuras pesquisas e desenvolvimento de novas práticas e materiais sustentáveis.

A seção de Referências lista todas as fontes citadas ao longo do trabalho, garantindo a credibilidade e a integridade acadêmica do estudo, seguindo as normas da ABNT e facilitando a consulta e a verificação das fontes utilizadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A área industrial da construção civil responde às demandas sociais e econômicas, com o objetivo principal de criar e implantar infraestruturas tais como: barragens, represas, linhas de rotas (estradas e férreas), construção de edifícios, hospitais, escolas, aeroportos, parques, dentre outros, conseqüentemente, a promoção do crescimento geral e de suporte aos processos de desenvolvimento (Lanau; Liu, 2020).

As atividades atreladas à construção civil acabam, na maior parte das vezes, modificando parcialmente ou totalmente o meio ambiente, ocasionando o que se conhece como impactos ambientais significativos. Em suma, muitos desses impactos são de carácter negativo e prejudicial, afetando diretamente a saúde do ambiente atual e futuro, pois estas ações são, na maioria das vezes, irreversíveis.

A construção civil é tida como uma atividade supostamente consumidora de muitos recursos naturais, impactando significativamente no ambiente, sendo necessário procurar mitigar os impactos negativos e supervalorizar os impactos positivos (Lanau; Liu, 2020).

Uma vez que as preocupações acerca dos recursos naturais e a maneira como são utilizados na sociedade é crescente, em especial na construção civil, estes pontos em destaque incentivam a reflexão, surgindo a necessidade de trabalhar conceitos de sustentabilidade aplicáveis aos diferentes setores da construção civil.

2.1 OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E O MEIO AMBIENTE

2.1.1 Contribuições econômicas e sociais da construção civil

A construção civil é encontrada facilmente onde há atividade humana, desde os primórdios, sendo, por esse motivo, uma das principais indústrias que modificam o meio ambiente e seus recursos, conseqüentemente, gerando uma maior quantidade de resíduos nem sempre dispostos de forma adequada, ocasionando a contaminação do meio ambiente como solos e águas, devido aos componentes de suas composições, como tintas, metais, entre outros, presentes na construção civil (Babalghaith *et al.*, 2022).

O aumento desta atividade está relacionada diretamente ao crescimento populacional local, pois fornece ambientes tanto para trabalho quanto para moradia da população, tendo sido a Revolução Industrial um momento marcante para a rápida expansão das atividades da construção civil, pois permitiu uma maior geração dos materiais utilizados na construção, através da mecanização dos processos produtivos (Lv; Shang, 2023).

Apesar da grande contribuição socioeconômica que esse setor proporciona, a alta demanda por materiais inertes, como areia e cascalho, pode ocasionar a modificação do perfil de rios e a mudança de paisagens, alterando seu equilíbrio e causando instabilidades e problemas ambientais, como a modificação de sua estrutura hidrológica e hidrogeológica (Mendonza *et al.*, 2016).

Além disso, estima-se que, globalmente, o setor consome mais de um terço dos recursos naturais, 40% da produção total de energia elétrica, 12% a 16% da água potável disponível, 25% de toda a madeira, emite um terço das emissões de carbono e gera entre 30% e 40% de todos os resíduos sólidos (Heinzen *et al.*, 2011; Roque; Pierri, 2019).

Devido à esses fatores, alinhado também ao grande desperdício de materiais que ocorre nas construções civis, o setor começou a desenvolver uma preocupação ambiental, dando início à busca por inovações e tecnologias para empregar construções mais sustentáveis, visando a redução do desperdício de materiais, a reutilização dos resíduos das construções e demolições, a substituição das matérias-primas e um uso mais eficiente da energia e dos recursos naturais, alinhando a harmonia entre o empreendimento e o meio ambiente, reduzindo assim o impacto que o modelo tradicional de construção civil traz para a sociedade (Pinto *et al.*, 2019; Severiano Junior, 2021).

2.1.2 Construção Sustentável (CS)

As definições das palavras sustentável e sustentabilidade possuem diversos conceitos já publicados, e possuem significados distintos. O conceito de sustentável pode ter como significado “algo que pode ser nutrido e/ou alimentado ao longo do tempo”, significando manter e sustentar uma sociedade funcional. A forma sustentabilidade, por outra perspectiva, resulta em produzir bens com um menor impacto ambiental, preservando recursos naturais para as gerações futuras. O conceito sustentável tem sido o mais empregado ao longo dos anos, em práticas de meio ambiente saudável (Theodoro; Leonardos, 2021).

O conceito de construção sustentável surgiu no fim dos anos 80, com o Relatório de Brundtland (1987), definindo como objetivo de sustentabilidade a preocupação com o planeta, garantindo “um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. Esse conceito surgiu da necessidade do setor da construção se adaptar ao processo de desenvolvimento da sociedade, visto que o crescimento populacional demandará o consumo de mais recursos, e isso implicará em consequências negativas para o meio ambiente e a sociedade (Mikulcic *et al.*, 2021).

A crescente tendência da introdução de práticas sustentáveis na construção civil é notável, mas o setor precisa se engajar cada vez mais, mudando a forma de gerir e produzir as obras, buscando soluções economicamente viáveis e relevantes. Em todo o ciclo de vida do empreendimento é necessário manter em mente o conceito de sustentabilidade, desde a concepção até a desconstrução ou demolição, detalhando em cada fase da obra os aspectos e impactos ambientais e como esses itens devem ser trabalhados (Esparza *et al.*, 2020).

Embora o termo de construção sustentável esteja ganhando cada vez mais força, ainda existem muitos mitos e receios que permeiam o tema, como o de que edifícios sustentáveis não funcionam, parecem estranhos, custam mais caro, são senso comum, que não existe informação suficiente, que os donos não se preocupam com a sustentabilidade ou que não existem formas de serem avaliados quanto sua sustentabilidade. Embora em alguns países a disponibilidade de materiais sustentáveis de fato tenha um custo pouco mais elevado frente aos materiais tradicionais, esta não é a realidade em muitos outros países (Lazar; Chithra, 2021).

Até o presente momento há um consenso que a sobrevivência do planeta requer profundas transformações na sociedade industrial e civil, sendo necessário que haja mudanças nos padrões tecnológicos de produção, hábitos de consumo e até raízes culturais. É também consenso que a transformação da cadeia produtiva da construção civil é crucial no processo de sobrevivência do planeta. Têm-se que a sustentabilidade já é o principal alimento da inovação tecnológica em diversos setores, inclusive no da construção civil. Logo, os que optam por esta prática colherão os principais benefícios. O conceito mais recente para definir a moderna construção sustentável baseia-se no desenvolvimento de um modelo que desafie e responda com soluções aos principais problemas ambientais do período atual, sem renunciar à moderna tecnologia e à criação de edificações que atendam às necessidades dos consumidores. A construção sustentável engloba definições teóricas, indo de acordo com conhecimentos de arquitetura, engenharia, paisagismo, saneamento, química, elétrica, eletrônica, mas também de antropologia, biologia, medicina, sociologia, psicologia, filosofia, história e espiritualidade (Maraveas, 2020).

2.1.3 Construção Ecológica (CE)

Dados os conhecimentos empíricos deixados por diversas gerações, temos a construção ecologicamente correta¹ (CE), que em vista às diferentes regiões e características climáticas

¹ Se diferencia da construção sustentável, uma vez que a construção sustentável vai além da construção ecológica ao considerar um conjunto mais amplo de fatores, incluindo o ciclo de vida completo dos materiais, a eficiência

possuem características intrínsecas. Unindo a arte arquitetônica vernácula e eruditas tecnologias inovadoras, a construção ecológica se encontra dentro dos setores de energias renováveis. A construção ecológica agrada todas as classes, pois proporciona conforto e, muitas das vezes, baixo custo habitacional. A CE é associada à utilização de criticidade como materiais locais ecologicamente corretos, visto que a CE faz parte dos pilares do desenvolvimento sustentável, que são: ser economicamente viável, ser auto construtiva, visando melhorar as condições de vida do meio e dos seres, e mais importante, respeitar o meio-ambiente (Furukawa *et al.*, 2004).

A construção ecológica, em seu processo de desenvolvimento, envolve um conjunto de princípios fundamentais, como: a redução drástica de consumo de água e de energia, utilizando de fontes energéticas renováveis, como por exemplo a energia solar e eólica, utilização de espaços menores em solo, emprego de materiais recicláveis/reutilizáveis. A construção eco basicamente se aproveita da orientação solar, exposição eólica, iluminação e ventilação natural, materiais não tóxicos que não agredem os sistemas naturais, visando sempre à redução de custos no ciclo de vida, focando sempre na eficiência do uso, proporcionando o conforto e a qualidade (Boguslavsky, 2022).

A montagem de construções sustentáveis envolve viabilizar uma melhor qualidade de vida para o usuário, redução de custos na construção, juntamente com o emprego de materiais biodegradáveis e recursos de energia limpa que proporcionam: aplicação de materiais redutíveis de poluição; desenvolvimento de materiais e tecnologias menos agressores do ambiente; reciclagem e reutilização de materiais e resíduos; consumo racional da água e energia; maior integração direta da natureza; aproveitamento de fontes de energia alternativas (solar, eólica e geotérmica); minimização do emprego de matérias-primas raras; reaproveitamento da água de chuva; redução de saída de resíduos sólidos, entre outros (Simas, 2017).

A construção ecológica vem com o objetivo de mitigar e reparar os danos causados no presente ao meio ambiente, para que possam ser preservados os bens naturais para o futuro, através de materiais renováveis, recicláveis, tornando assim uma vida mais saudável e responsável.

econômica, a justiça social e a viabilidade futura. Ela envolve um planejamento mais holístico, que abrange não apenas a fase de construção, mas também a operação e a manutenção do edifício ao longo do tempo. A construção sustentável incorpora práticas de design que são economicamente viáveis, socialmente benéficas e ambientalmente responsáveis. Isso pode incluir a avaliação do impacto ambiental do transporte de materiais, a implementação de sistemas de gestão de resíduos, a eficiência energética durante a vida útil do edifício e a promoção de condições de trabalho justas e seguras (SILVA; OLIVEIRA, 2018).

2.2 O CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O ciclo de vida dos materiais de construção abrange todas as etapas desde a extração das matérias-primas até a disposição final dos resíduos. Esse conceito é fundamental para avaliar o impacto ambiental de um material ao longo de toda a sua existência, proporcionando uma visão abrangente das suas consequências ecológicas e permitindo uma gestão mais sustentável no setor da construção civil (Carvalho; Santos, 2019).

A primeira fase do ciclo de vida dos materiais de construção envolve a extração das matérias-primas. Este processo pode ter impactos ambientais significativos, incluindo a degradação do solo, a perda de biodiversidade e a contaminação de recursos hídricos (Souza, 2020). Após a extração, os materiais são processados, o que geralmente requer grandes quantidades de energia e água, além de gerar emissões atmosféricas e resíduos sólidos.

O transporte das matérias-primas e dos produtos acabados é outra etapa crítica do ciclo de vida dos materiais de construção. Esta fase contribui para a pegada de carbono dos materiais devido ao consumo de combustíveis fósseis e à emissão de gases de efeito estufa (Carvalho; Santos, 2019). A escolha de materiais locais pode reduzir significativamente esses impactos.

Durante a fase de construção, os materiais são transformados e integrados em edifícios e outras infraestruturas. Esta etapa pode gerar uma quantidade considerável de resíduos de construção e demolição (RCD), além de consumir recursos adicionais como energia e água (Souza, 2020). A adoção de práticas de construção sustentável, como a utilização de materiais reciclados e a minimização de desperdícios, pode mitigar esses impactos.

Uma vez concluída a construção, os materiais continuam a ter impactos ambientais ao longo da fase de uso do edifício. Isso inclui a eficiência energética do edifício, a necessidade de manutenção e reparos, e a durabilidade dos materiais. Materiais de alta qualidade e bem selecionados podem prolongar a vida útil da construção e reduzir a necessidade de recursos adicionais para manutenção (Carvalho; Santos, 2019).

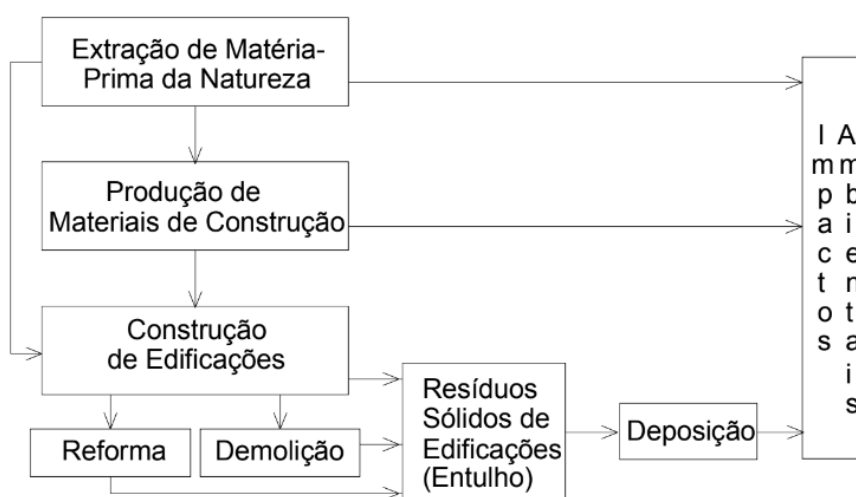
Finalmente, no final da vida útil do edifício, os materiais devem ser desconstruídos e dispostos. A desconstrução seletiva, ao contrário da demolição total, permite a recuperação de materiais para reciclagem e reutilização, minimizando a quantidade de resíduos enviados para aterros. A gestão adequada dos resíduos de construção e demolição é essencial para reduzir os impactos ambientais e promover a economia circular na construção civil (Souza, 2020).

A análise do ciclo de vida dos materiais de construção é uma ferramenta essencial para promover a sustentabilidade no setor da construção civil. Ao considerar os impactos ambientais em cada etapa, desde a extração até a disposição final, é possível tomar decisões mais

informadas e responsáveis, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida das comunidades (Carvalho; Santos, 2019).

O modelo de construção civil atualmente empregado no país, em toda a sua cadeia de suprimentos, oriunda diversos prejuízos ambientais (Figura 1), dispondo amplamente de matéria-prima não renovável da natureza e consumo de elevadas quantidades de energia no processo de extração, transporte e processamento dos insumos, e é também desperdiçador de materiais considerado grande fonte geradora de resíduos dentro da sociedade (Tangtinthai *et al.*, 2019).

Figura 1 - Ciclo de vida dos materiais



Fonte: Brasil (2007). Adaptado do Ministério das Cidades.

Para tais, as vantagens das construções sustentáveis vão na contramão da construção civil tradicional, uma vez que estas diminuem drasticamente os impactos ambientais.

O custo de implementação de soluções ambientalmente sustentáveis em edificações verdes pode ser cerca de 5% maior do que em uma edificação convencional, porém, a sua utilização pode representar uma economia de cerca de 30% de recursos durante o uso do imóvel (Bemfica, 2015). Por exemplo, o custo de um sistema de placas solares pode ser pago em até um ano de uso com a economia de energia que ele gera. Um sistema de reutilização de água para sanitários, torneiras de áreas comuns e jardinagem podem gerar uma economia de água de cerca de 35%. Dessa forma, a lógica para viabilidade econômica desses sistemas é a economia gerada durante seu uso ao longo do tempo (Bemfica, 2015).

Um grande exemplo de construção sustentável no Brasil foi a reforma do Estádio Mineirão para a Copa do Mundo de Futebol de 2014, sendo o primeiro estádio da América Latina a conquistar o nível mais alto de selo ambiental, o *LEED Platinum*, e o segundo no

mundo. Alguns dos inúmeros benefícios dessa obra é a economia anual de 43,73% de energia elétrica, por meio de sistemas de ar condicionado e iluminação mais eficientes, além do uso de 6.000 células fotovoltaicas, que geram 1,42 MWP de energia elétrica. Durante a reforma, a maior parte da estrutura já existente foi reaproveitada e, dos materiais retirados, 79,44% foram reaproveitados em outros edifícios públicos ou reutilizados no próprio estádio, dessa forma, cerca de 12,6% dos recursos utilizados foram provenientes de material reciclável. No âmbito hídrico, por meio dos sistemas inteligentes de reaproveitamento de águas, gerou-se uma redução de até 70% do consumo de água. Por fim, durante o processo de construção o volume de resíduos gerados reaproveitados foi de quase 80% (Rodrigues *et al.*, 2019).

O atual modelo de construção civil praticado no Brasil ocasiona muitos prejuízos ambientais, e para chegar a uma construção mais adequada aos princípios sustentáveis, faz-se necessário a adoção de novos paradigmas e padrões de consumo, considerando entre vários aspectos o manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos, objetivando a reutilização e redução da geração de tais resíduos (Martínez *et al.*, 2023).

A redução na geração desses resíduos está atrelada ao uso da padronização de serviços, que consistam na otimização da utilização dos insumos aplicados e de ferramentas tecnológicas, que permitam o controle e dosagem da quantidade de material utilizado, potencializando resultados sustentáveis e econômicos, além da utilização de um maior tempo na fase de planejamento para determinação desses materiais, ferramentas e tecnologias mais eficientes e menos onerosas (Bispo *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2023).

A reciclagem dos resíduos da construção civil podem se dar de diversas formas, como por exemplo, utilizando de agregados para produção de blocos de pavimentação, areia reciclada para produção de argamassa, brita reciclada no uso de lastras ou valas, lodos de ETE's para fabricação de cerâmicas, entre outras várias possibilidades existentes, e isso já vem sendo aplicado, como na cidade de São Carlos, que possui uma central de triagem de resíduos de construção para produzir blocos com agregados reciclados e aplicação em pavimentação urbana (Martínez *et al.*, 2023).

Embora o setor possa não demonstrar interesse ou preocupação em uma gestão de resíduos sustentável, justifica-se e recomenda-se qualquer iniciativa que vise o reaproveitamento dos resíduos gerados pelo setor da construção civil, pois estes podem ter as mesmas propriedades dos produtos feitos com materiais tradicionais e podem contribuir para a proteção do meio ambiente (além do exterior econômico decorrente) ao reduzir o uso de materiais naturais (Bispo *et al.*, 2018).

2.3 REQUISITOS AMBIENTAIS PARA OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

2.3.1 Meio Ambiente, Social e Governança - ESG (*Environmental, Social And Governance*)

O movimento ESG, do inglês *Environmental, Social and Governance* (Ambiental, Social e Governança), foi levantado pela primeira vez em um evento das Nações Unidas em 2004, mas ganhou pouco destaque nos anos subsequentes. À medida que as tecnologias sustentáveis, os mercados de consumo e os mercados financeiros amadureceram no final da década passada, as coisas mudaram drasticamente, com a maioria das empresas investindo tempo e dinheiro no fortalecimento dos três pilares incluídos no ESG. No Brasil, construtoras demonstram ações frente ao movimento que outros setores vêm apresentando nos pilares do ESG, devido a motivos como conservadorismo histórico a alterações estruturais e o impacto na confiança da sociedade, reforçando a necessidade do engajamento do setor nos pilares ambientalista, social e de governança corporativa, podendo utilizar ideias e medidas dos setores que apresentam maior maturidade nesse movimento (Gil, 2021).

Os esforços de uma empresa comprometida com os ideais ESG podem ser vistos através de vantagens competitivas, reputação social e performance operacional, fornecendo dados, informações e compreensão de suas ações para os *stakeholders* e sociedade, que impactam diretamente o mercado financeiro e investimentos da companhia, pois os investidores estão cada vez mais interessados em empresas que operam com princípios ESG, por serem mais sustentáveis e apresentarem um melhor desenvolvimento de longo prazo, além de demonstrarem melhores resultados financeiros (Soares; Pereira, 2022).

A tendência é que empresas que deixam de lado questões sociais e ambientais nas suas estratégias de negócios percam espaço, pois agora é necessário muito mais do que apenas levantar um prédio e garantir que seja funcional, é necessário que haja respeito à realidade socioeconômica da região de instalação, respeito às políticas socioambientais de consumo consciente de água e energia e a garantia da saúde e conforto de seus ocupantes. A tendência é o crescimento das preocupações ambientais e, como consequência desse movimento, a busca cada vez maior por construções sustentáveis (Soares; Pereira, 2022).

2.3.2 Inovações metodológicas tecnológicas da indústria da construção

No livro de Bispo *et al.* (2018), os autores apresentam diversas metodologias e objetos tecnológicos que podem ajudar a construção civil de maneira geral. Há um capítulo direcionado à gestão de resíduos na construção civil e seus custos, onde os autores explicam a importância

da gestão integrada dos resíduos e a diminuição dos custos com materiais reciclados e reaproveitados. Eles propõem a relevância de estratégias que procurem reutilizar resíduos gerados no setor da construção civil, pois é um meio eficaz de colaborar com a preservação ambiental. Além disso, destacam que a sociedade, na maioria das vezes, ainda não parece ter conhecimento da origem ou destinação correta dos resíduos, de tal modo que não faz uma devida cobrança por seu uso e descarte.

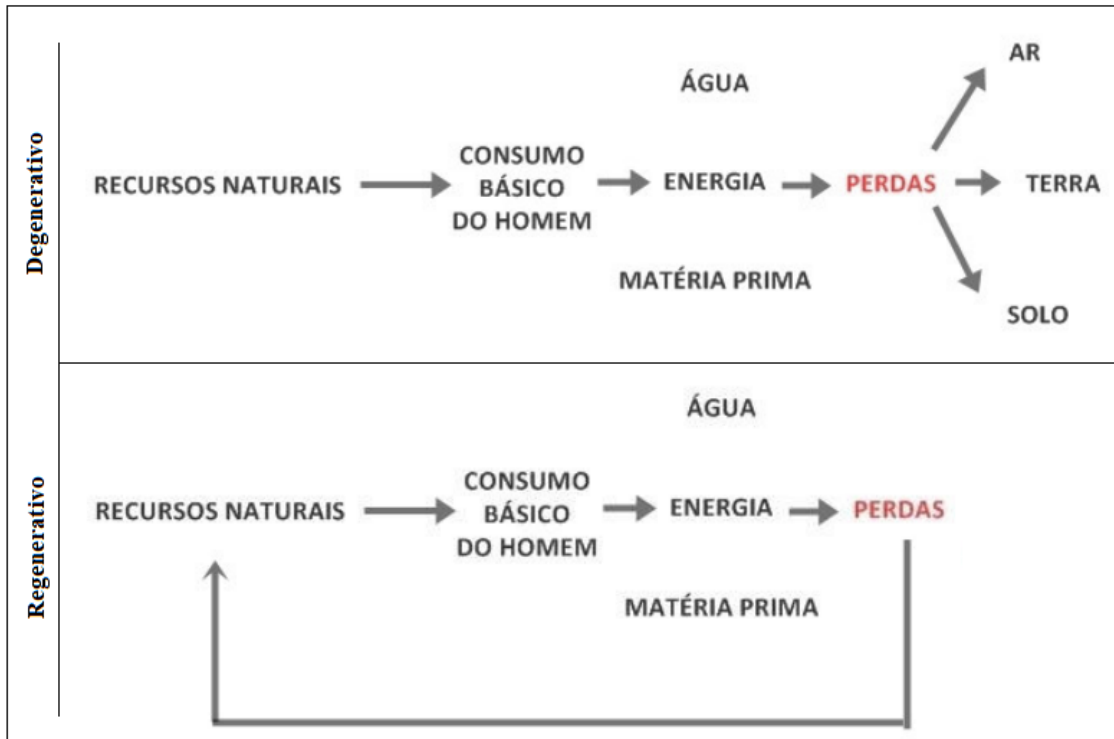
Santos (2020) propôs uma revisão de literatura envolvendo análise qualitativa e dados bibliométricos de 123 artigos da base de dados Scopus, onde a partir desta foi possível desenvolver uma matriz agrupada por área tecnológica, podendo ser utilizada como base para estudos futuros. O autor ainda desenvolveu dois mapas mentais, um referente a ligação da Construção 4.0 e campos de inovações tecnológicas, e outro relacionado a integração dos campos de inovações tecnológicas ligados à Indústria 4.0. Este estudo permitiu a contribuição da modernização da cadeia produtiva da indústria da construção. Apresentando o uso de novas tecnologias proporcionando uma verdadeira revolução na sociedade, permitindo ações antes inimagináveis e beneficiando a qualidade de vida das pessoas, melhoria da qualidade dos produtos e serviços gerados pela indústria da construção, inclusive saúde, segurança das partes interessadas no objeto de pesquisa (Santos, 2020).

Segundo publicado na literatura, a inovação é adotada pelas empresas como estratégica para competir e diferenciar-se com sucesso no mercado (Baregheh *et al.*, 2009). E ainda conforme o Livro Branco de Inovação (Brasil, 2002), a partir da inovação é possível melhorar o aparato produtivo nacional, oferecer empregos mais qualificados e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos por meio do uso de produtos de melhor qualidade.

A sustentabilidade empregada na área da construção civil é de extrema importância, uma vez que a indústria da construção é uma das indústrias que está em constante ascensão causando grande impacto ambiental, citando como práticas agravantes de impacto ambiental temos: extração de matérias primas diretamente da natureza, produção e transporte de materiais, construção de edificações e conseqüente ocupação de terras, geração de grande quantidade de resíduos sólidos, entre outros. Portanto, os questionamentos pertinentes são: Como pode-se aplicar a sustentabilidade ambiental nas construções atuais? E quais deveriam ser as técnicas utilizadas por arquitetos e engenheiros desde a concepção do projeto? Dentro das inovações metodológicas tecnológicas da indústria da construção, as edificações sustentáveis representam uma revolução em como o projeto é pensada, a construção e sua utilização, no entanto, uma grande barreira para a utilização da construção ecológica é a falta de informações dos profissionais da área, pois, sem o conhecimento necessário na área do meio ambiente, é quase

impossível que o profissional faça a relação direta entre o meio ambiente construído e a natureza (Figura 2). (Magalhães *et al.*, 2017).

Figura 2 - Relação direta entre o meio ambiente construído e a natureza, em sistema degenerativo e regenerativo.



Fonte: Adaptado de MAGALHÃES *et al.*, 2017.

Julga-se que o futuro da terra depende única e exclusivamente da adoção de práticas sustentáveis na cultura humana e no cotidiano de toda a sociedade, nota-se que inúmeras práticas insustentáveis são visivelmente empregadas todos os dias, porém, a falta de engajamento na condução de mudanças sustentáveis se traduz em um avanço nada tecnológico viavelmente significativo para a questão sustentável, desta forma que é de extrema importância a adoção e sobretudo a regulamentação das práticas sustentáveis da construção civil, antes que não haja recursos naturais disponíveis para utilização (Harazi *et al.*, 2022).

3. METODOLOGIA

O estudo sobre os materiais de construção disponíveis no mercado considerando aspectos ambientais é de extrema importância tanto no âmbito prático quanto intelectual. Praticamente, ele aborda a necessidade urgente de reduzir os impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil, propondo o uso de materiais sustentáveis que podem diminuir significativamente a pegada ecológica deste setor. Intelectualmente, este estudo contribui para o avanço do conhecimento na área de construções sustentáveis, promovendo a conscientização e a criticidade acerca das alternativas ecológicas disponíveis. Além disso, oferece uma base sólida para futuras pesquisas e inovações tecnológicas, estimulando o desenvolvimento de novas práticas e materiais que possam aliar eficiência, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental.

Para desenvolver este estudo, foi realizada uma revisão sistemática de literatura, que é uma metodologia rigorosa e estruturada para coletar e analisar dados de pesquisas previamente publicadas. A revisão sistemática envolve várias etapas que garantem a qualidade e a relevância das informações coletadas.

- a) **Definição da Questão de Pesquisa:** A primeira etapa envolveu a formulação de perguntas claras e específicas sobre o uso de materiais de construção sustentáveis e seus impactos ambientais;
- b) **Seleção das Bases de Dados:** Foram escolhidas bases de dados científicas relevantes e confiáveis para a coleta de estudos, como *Scopus*, *Web of Science*, e *Google Scholar*;
- c) **Crterios de Inclusão e Exclusão:** Estabelecemos critérios rigorosos para incluir ou excluir estudos com base em sua relevância, qualidade metodológica e escopo temático;
- d) **Coleta de Dados:** Realizamos a busca sistemática nas bases de dados selecionadas, utilizando palavras-chave e termos específicos relacionados à questão de pesquisa;
- e) **Análise e Síntese dos Dados:** Os dados coletados foram analisados e sintetizados de forma a identificar padrões, tendências e lacunas na literatura existente;
- f) **Interpretação dos Resultados:** A partir da análise, interpretamos os resultados considerando suas implicações práticas e teóricas para o campo das construções sustentáveis;
- g) **Relato das Conclusões:** Finalmente, os achados foram compilados e relatados, oferecendo uma visão abrangente sobre o estado atual do conhecimento e sugerindo direções para pesquisas futuras.

3.1 ORGANIZAÇÃO DE DADOS

A estrutura da pesquisa foi cuidadosamente planejada para garantir a profundidade da análise e a relevância dos dados coletados. A seguir, são detalhadas as etapas principais da abordagem metodológica e a organização da pesquisa:

As buscas foram realizadas utilizando palavras-chave específicas relacionadas à construção sustentável, construção ecológica, sustentabilidade civil, impacto ambiental e materiais biodegradáveis. O período de tempo considerado para a busca foi dos últimos 10 anos (2013-2023), garantindo que os dados sejam atuais e relevantes.

Os critérios de busca incluíram a utilização de palavras-chave específicas e a limitação do período de publicação. Após a coleta inicial dos dados, os resultados foram organizados e classificados em ordem decrescente de temporalidade (do mais recente para o mais antigo). Em seguida, os dados foram organizados tematicamente em pastas, categorizando-os em tópicos como construção ecológica, construção sustentável, desafios da construção sustentável, ESG (*Environmental, Social, and Governance*), novas metodologias de construção, e qualidade e otimização de construções ecológicas.

Os dados coletados foram analisados considerando os principais fatores que influenciam a escolha dos materiais de construção e suas implicações ambientais. Foram avaliadas as metodologias empregadas para a seleção e utilização dos materiais, bem como as estratégias para a minimização dos impactos ambientais. A análise também envolveu a avaliação da eficiência e viabilidade econômica dos materiais sustentáveis identificados.

Nesta etapa, a pesquisa focou na identificação de diversos materiais de construção sustentáveis disponíveis no mercado. Cada material foi descrito detalhadamente, destacando seus benefícios ambientais, econômicos e sociais. Entre os materiais analisados, incluem-se madeira certificada, tijolos ecológicos, concreto reciclado, isolantes térmicos naturais e telhas de fibra vegetal. Além disso, foram discutidos os desafios associados à adoção desses materiais e exemplos práticos de sua aplicação em projetos de construção.

A seção de Discussão e Conclusão sintetiza os principais pontos abordados ao longo do trabalho, reafirmando a importância dos materiais sustentáveis na construção civil. São destacadas as contribuições do estudo para o campo da construção sustentável, bem como a necessidade de políticas públicas eficazes e incentivos econômicos para promover a utilização desses materiais. A pesquisa conclui com sugestões para futuras investigações e desenvolvimento de novas práticas e materiais sustentáveis.

Em resumo, a abordagem qualitativa e a estrutura organizada da pesquisa permitem uma análise detalhada e coerente dos materiais de construção sustentáveis, contribuindo para o desenvolvimento de práticas mais responsáveis e ecológicas na construção civil. Cada etapa foi planejada para garantir a integridade e a profundidade da análise, proporcionando um estudo robusto e bem fundamentado sobre o tema.

3.2 BASE DE DADOS E BUSCAS

Nas bases de dados, concentrou-se em esclarecer as técnicas de pesquisa adotadas para obtenção dos resultados. As bases de dados escolhidas para a construção deste trabalho foram a *Scifinder*®, amparada pelos dados abertos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e indexada à *ACM Digital Library*. A Plataforma *Scifinder*® é uma ferramenta do *Chemical Abstracts Service* (CAS), de referenciais com resumos e patentes, indexando periódicos científicos que englobam um leque vasto de temas.

Esta plataforma pode ser acessada pela opção buscar base do Portal de Periódicos da CAPES, uma biblioteca virtual que dispõe o melhor da produção científica internacional à comunidade acadêmico-científica brasileira. Acessou-se as bases de dados usando o login acadêmico do aluno via acesso remoto do sistema acadêmico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O portal de Periódicos da CAPES conta com um acervo de mais de 38 mil títulos com texto completo, 126 bases referenciais, 11 bases dedicadas exclusivamente a patentes, além de livros, enciclopédias e obras de referência, normas técnicas, estatísticas e conteúdo audiovisual (CAPES, 2022).

Além disso, foram utilizadas as bases SciELO e Google Acadêmico. SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) é uma biblioteca eletrônica que abrange uma coleção selecionada de periódicos científicos brasileiros e de outros países da América Latina e Caribe. Google Acadêmico é um serviço de busca do Google que indexa artigos acadêmicos, teses, livros, resumos e opiniões de tribunais, disponibilizando uma vasta gama de fontes de informação acadêmica. Estas bases foram essenciais para acessar uma ampla variedade de estudos relevantes, garantindo uma análise abrangente e atualizada dos materiais de construção sustentáveis.

Os dados coletados foram analisados considerando os principais fatores que influenciam a escolha dos materiais de construção e suas implicações ambientais. Foram avaliadas as metodologias empregadas para a seleção e utilização dos materiais, bem como as estratégias

para a minimização dos impactos ambientais. A análise também envolveu a avaliação da eficiência e viabilidade econômica dos materiais sustentáveis identificados.

3.3 CRITÉRIOS DE BUSCA

As buscas foram realizadas utilizando as seguintes estratégias:

a) Palavras-chave: construção sustentável, construção ecológica, sustentabilidade civil, impacto ambiental da construção, materiais renováveis, materiais biodegradáveis, materiais sustentáveis disponíveis no mercado.

b) Período de tempo: artigos publicados nos últimos 10 anos (2013-2023).

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos para assegurar a relevância e a qualidade dos dados coletados:

3.3.1 Critérios de Inclusão

Para assegurar a relevância e a qualidade das fontes selecionadas para esta pesquisa, foram estabelecidos critérios específicos de inclusão. Esses critérios garantem que apenas os estudos mais pertinentes e rigorosos sejam considerados. Abaixo estão os critérios de inclusão definidos:

- a) Artigos publicados nos últimos 10 anos (2013-2023).
- b) Estudos revisados por pares.
- c) Publicações que abordam diretamente materiais de construção sustentáveis e seus impactos ambientais.
- d) Pesquisas que apresentem dados quantitativos ou qualitativos relevantes para a análise dos materiais de construção.
- e) Artigos disponíveis em português, inglês e espanhol.
- f) Artigos de acesso livre/gratuito.
- g) Dissertações e teses de acesso livre.

3.3.2 Critérios de Exclusão

Para evitar a inclusão de estudos que não contribuam significativamente para a análise proposta, foram definidos critérios específicos de exclusão. Esses critérios ajudam a eliminar

trabalhos que não atendem aos requisitos mínimos de qualidade e relevância. Abaixo estão os critérios de exclusão adotados:

- a) Publicações fora do intervalo de tempo estabelecido (anteriores a 2013).
- b) Artigos de opinião, editoriais, resenhas sem base empírica ou estudos sem revisão por pares.
- c) Trabalhos de conclusão de curso.
- d) Estudos que não abordem diretamente a construção sustentável ou materiais de construção.
- e) Publicações duplicadas em diferentes bases de dados.
- f) Publicações de acesso fechado/que exigissem pagamento.

3.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica dividiu-se basicamente em três partes:

- a) A primeira parte consistia em esclarecer os conceitos de construções sustentáveis,
- b) A segunda parte visava analisar de maneira clara e objetiva os conceitos de qualidade e produtividade.
- c) A terceira parte consistia em referenciar os resultados encontrados nos estudos sobre o impacto ambiental das construções.

Os conceitos mais amplamente utilizados para "construção sustentável" e "construção ecológica" são identificados e discutidos. A construção sustentável, também conhecida como edificação verde, envolve práticas que visam reduzir o impacto ambiental durante todo o ciclo de vida de uma edificação, desde o planejamento até a demolição. Ela se concentra em eficiência energética, uso de materiais sustentáveis, gestão da água e qualidade ambiental interna. Já a construção ecológica enfatiza a integração harmoniosa das edificações com o ambiente natural, promovendo a biodiversidade e a conservação dos ecossistemas. Esses conceitos são fundamentais para guiar práticas que minimizam o impacto negativo da construção civil no meio ambiente.

Os materiais de construção disponíveis no mercado considerados sustentáveis, assim como seus impactos ambientais, são analisados. Materiais sustentáveis, como madeira certificada, tijolos ecológicos e concreto reciclado, têm um ciclo de vida menos agressivo ao meio ambiente. Esses materiais são selecionados com base em critérios como baixa emissão de carbono, capacidade de reciclagem, eficiência energética e ausência de substâncias tóxicas.

Analisar esses materiais é crucial para promover construções que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente e mais eficientes em termos de recursos.

Os principais benefícios ambientais, sociais e econômicos das construções sustentáveis são apresentados. Edificações sustentáveis oferecem vantagens como a redução das emissões de carbono, a conservação dos recursos naturais e a diminuição dos custos operacionais ao longo do tempo. Além disso, elas melhoram a qualidade de vida dos ocupantes, promovem a saúde e o bem-estar, e podem gerar empregos em setores ligados à sustentabilidade. Esses benefícios tornam as construções sustentáveis uma escolha estratégica para o desenvolvimento econômico e social, além de contribuir para a preservação do meio ambiente.

Os impactos ambientais do ciclo de vida dos materiais de construção e as formas de minimizá-los são detalhados. Desde a extração de matérias-primas até o descarte ou reciclagem, os materiais de construção causam diferentes níveis de impacto ambiental. Estratégias como a escolha de materiais reciclados, o uso de fontes de energia renováveis e a adoção de práticas de construção sustentável ajudam a minimizar esses impactos. Analisar o ciclo de vida dos materiais é essencial para identificar áreas onde melhorias podem ser implementadas, promovendo assim um uso mais eficiente e sustentável dos recursos.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

Os dados coletados foram classificados por ano, do mais recente para o mais antigo (2023-2003), com ênfase nos anos mais recentes. Em seguida, foram organizados em pastas temáticas, incluindo Construção Ecológica, Construção Sustentável, Construções Gerais, Desafios da Construção Sustentável, *Environmental Social And Governance* (ESG), Novas Metodologias de Construção, e Qualidade e Otimização de Construções Ecológicas.

Em seguida, os dados foram categorizados por relevância, incluindo textos completos, artigos científicos, obras de referência, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, etc.

Os materiais foram avaliados com base em sua renovabilidade, reciclabilidade, durabilidade, necessidade de manutenção, impacto ambiental, eficiência energética, e ausência de substâncias tóxicas.

Os resultados foram apresentados destacando as principais metodologias envolvidas na apresentação dos materiais disponíveis no mercado com foco na diminuição do impacto ambiental.

A análise envolveu a identificação de diversos materiais de construção sustentáveis disponíveis no mercado, discutindo seus benefícios ambientais, econômicos e sociais, bem

como os desafios associados à sua adoção e exemplos práticos de sua aplicação em projetos de construção.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Foi encontrado um total de 51 materiais ao realizar a revisão sistemática. Os artigos encontrados são de periódicos, eventos científicos e livros. Destes: a) 3 artigos de eventos; b) Artigos em Revistas e Periódicos: 38 artigos; c) Dissertações e Trabalhos Acadêmicos: 10 trabalhos. Após análise qualitativa, foram selecionados 14 trabalhos que efetivamente se relacionavam diretamente com o tema, vide Quadro 1 abaixo:

Quadro 1- Referencias utilizadas

Autor	Ano	Título	Publicação/Detalhes
Tavares	2022	Discussão sobre conceitos de construção sustentável e ecológica	Artigo acadêmico
Sartori	2020	Construção sustentável e seus princípios	Livro sobre construções sustentáveis
Pereira e Souza	2019	Eficiência energética e materiais sustentáveis na construção	Revista de Engenharia Civil
Silva et al.	2018	Certificações LEED e BREEAM na construção civil	Periódico de Arquitetura e Engenharia
Oliveira	2017	Definição e práticas de construção ecológica	Estudo sobre construções ecológicas
Lopes e Mendes	2021	Técnicas de construção ecológica e seus impactos	Livro sobre práticas sustentáveis na construção
Smith	2019	Aplicação de princípios sustentáveis no projeto BedZED	Estudo de caso sobre BedZED, Londres
Fernandes	2020	Benefícios das edificações sustentáveis na redução do consumo de energia	Artigo sobre eficiência energética em edificações sustentáveis
Costa e Almeida	2021	Desafios e políticas públicas para construções sustentáveis	Revista de Políticas Públicas
Pacheco	2021	Estudo sobre materiais de construção sustentáveis	Artigo acadêmico
Lima	2019	Eficiência energética em edifícios construídos com materiais sustentáveis	Livro sobre práticas sustentáveis
Mendes	2018	Aplicação de lã de Rocha como material isolante térmico	Periódico de Engenharia Civil
Pereira	2018	Uso de materiais naturais para isolamento térmico	Revista de Engenharia Ambiental
Almeida	2020	Concreto reciclado na construção civil	Livro sobre sustentabilidade e reciclagem na construção civil

Fonte: O autor (2024).

4.1 OS CONCEITOS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E CONSTRUÇÃO ECOLÓGICA

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente tem influenciado diversos setores, incluindo o da construção civil. Neste contexto, os termos "construção sustentável" e "construção ecológica" têm ganhado destaque. Este trabalho visa discutir os conceitos mais amplamente utilizados para "construção sustentável" e "construção ecológica", explorando suas definições, características, benefícios e desafios (Tavares, 2022).

A construção sustentável, também conhecida como "edificação verde", emergiu como uma resposta às crises ambientais e à necessidade de um desenvolvimento mais responsável. Segundo Sartori (2020), ela é definida como o processo de criar edificações que são ambientalmente responsáveis e eficientes em termos de recursos ao longo de seu ciclo de vida, desde o planejamento até a demolição.

Os princípios da construção sustentável incluem a eficiência energética, a utilização de materiais sustentáveis, a gestão eficiente da água e a qualidade ambiental interna. De acordo com Pereira e Souza (2019), a eficiência energética pode ser alcançada por meio de soluções como o isolamento térmico, a iluminação natural e o uso de fontes de energia renováveis.

As certificações como LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) estabelecem critérios rigorosos para avaliar a sustentabilidade das edificações. Conforme Silva et al. (2018), essas certificações incentivam a adoção de práticas sustentáveis, oferecendo reconhecimento e benefícios econômicos.

A construção ecológica, embora similar à construção sustentável, coloca um maior enfoque na integração harmoniosa das edificações com o ambiente natural. Oliveira (2017) define a construção ecológica como aquela que minimiza o impacto ambiental e promove a biodiversidade e a conservação dos ecossistemas.

Entre as técnicas utilizadas na construção ecológica estão os telhados verdes, o uso de materiais naturais e reciclados, e a incorporação de sistemas de energia passiva. Segundo Lopes e Mendes (2021), essas técnicas não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também melhoram a saúde e o bem-estar dos ocupantes.

Projetos como o BedZED (*Beddington Zero Energy Development*) em Londres exemplificam a aplicação de princípios ecológicos na construção, utilizando materiais locais e renováveis, e sistemas de energia solar e eólica (Smith, 2019).

Tanto a construção sustentável quanto a ecológica oferecem benefícios significativos, incluindo a redução das emissões de carbono, a conservação dos recursos naturais e a diminuição dos custos operacionais. De acordo com Fernandes (2020), edificações sustentáveis podem reduzir o consumo de energia em até 50%.

Os principais desafios incluem os custos iniciais elevados, a falta de mão de obra qualificada e a resistência do mercado a novas tecnologias. Conforme apontado por Costa e Almeida (2021), a superação desses desafios requer políticas públicas eficazes, incentivos econômicos e educação continuada para profissionais do setor.

A construção sustentável e a construção ecológica representam abordagens inovadoras e necessárias para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos. Embora compartilhem princípios e objetivos, cada uma possui características distintas que podem ser aplicadas de acordo com o contexto e os recursos disponíveis. A adoção dessas práticas não só promove a preservação ambiental, mas também oferece benefícios econômicos e sociais de longo prazo. Para o desenvolvimento de ambas, é essencial pensar nos materiais adotados, compreendidos como os materiais disponíveis no mercado para promover a sustentabilidade. A síntese dos conceitos faz-se abaixo, no Quadro 2:

Quadro 2 - Conceitos de construção sustentável e ecológica para cada autor

Autor	Construção sustentável	Construção ecológica
Tavares (2022)	Discutir os conceitos amplamente utilizados para "construção sustentável", explorando definições, características e desafios.	Aborda também a construção ecológica em termos de integração ambiental e preservação.
Sartori (2020)	Processo de criar edificações ambientalmente responsáveis e eficientes em termos de recursos ao longo do ciclo de vida.	Não especificado diretamente, mas sugere práticas em harmonia com os princípios de sustentabilidade.
Pereira e Souza (2019)	Foco na eficiência energética, uso de materiais sustentáveis, gestão de água e qualidade ambiental interna.	Não abordado diretamente.
Silva et al. (2018)	Certificações como LEED e BREEAM avaliam a	

	sustentabilidade das edificações e incentivam práticas sustentáveis.	Não abordado diretamente, mas práticas ecológicas podem ser incentivadas pelas certificações.
Oliveira (2017)	Semelhante à construção ecológica, mas com foco maior em sustentabilidade a longo prazo.	Minimiza o impacto ambiental, promove a biodiversidade e conservação dos ecossistemas.
Lopes e Mendes (2021)	Não especificado diretamente, mas sugere práticas que podem ser aplicadas também em construção sustentável.	Técnicas como telhados verdes, uso de materiais naturais e sistemas de energia passiva para reduzir impactos.
Smith (2019)	Aplicação de princípios sustentáveis no desenvolvimento de projetos, como o BedZED.	Exemplifica a construção ecológica com projetos que utilizam materiais locais e renováveis, e sistemas de energia passiva.
Fernandes (2020)	Edificações sustentáveis podem reduzir o consumo de energia em até 50%, trazendo benefícios econômicos e ambientais.	Não abordado diretamente, mas os benefícios podem ser semelhantes ao da construção sustentável.
Costa e Almeida (2021)	A superação de desafios na construção sustentável requer políticas públicas, incentivos e educação.	Não abordado diretamente, mas a superação de desafios na construção ecológica também pode seguir diretrizes semelhantes.

Fonte: O autor (2024).

4.2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS: UM ESTUDO SOBRE AS OPÇÕES DISPONÍVEIS NO MERCADO

O setor de construção civil tem evoluído para incorporar práticas sustentáveis que visam reduzir o impacto ambiental e promover o uso eficiente de recursos. Entre essas práticas, a escolha de materiais de construção sustentáveis desempenha um papel crucial.

Materiais de construção sustentáveis são aqueles que possuem menor impacto ambiental durante seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte ou reciclagem. Segundo Pacheco (2021), esses materiais são escolhidos por sua eficiência energética, durabilidade, capacidade de reciclagem e baixa emissão de poluentes.

O uso de materiais sustentáveis na construção contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diminuição do consumo de recursos naturais e a minimização dos resíduos. Segundo Pacheco (2021), a escolha de materiais ecológicos pode reduzir em até 30% o impacto ambiental de uma construção.

Materiais sustentáveis frequentemente apresentam melhores propriedades térmicas e acústicas, melhorando o conforto dos ocupantes e reduzindo o consumo energético. Lima (2019) destaca que edifícios construídos com materiais sustentáveis podem ter uma redução de até 50% no consumo de energia para aquecimento e resfriamento.

A utilização de materiais não tóxicos e com baixo teor de compostos orgânicos voláteis (COVs) contribui para a qualidade do ar interno e a saúde dos ocupantes. Conforme Silva (2020), materiais naturais e certificados evitam a liberação de substâncias nocivas, promovendo ambientes mais saudáveis.

Apesar dos benefícios, a adoção de materiais sustentáveis enfrenta desafios, como o custo inicial elevado e a falta de conhecimento ou disponibilidade no mercado. Segundo Costa e Almeida (2018), superar esses obstáculos requer políticas de incentivo, educação continuada e inovação tecnológica. A perspectiva futura aponta para um crescimento na demanda e oferta desses materiais, impulsionada pela conscientização ambiental e regulamentações mais rigorosas.

A escolha de materiais de construção sustentáveis é uma estratégia eficaz para mitigar os impactos ambientais da construção civil e promover a sustentabilidade. Madeira certificada, tijolos ecológicos, concreto reciclado, isolantes naturais e telhas de fibra vegetal são exemplos de materiais que combinam eficiência, durabilidade e respeito ao meio ambiente. A adoção desses materiais, embora desafiadora, representa um passo essencial para um futuro mais sustentável na construção civil.

4.2.1 Madeira certificada

A construção sustentável tem se tornado cada vez mais relevante em um mundo preocupado com a preservação ambiental e a eficiência dos recursos naturais. Entre os materiais utilizados na construção civil, a madeira destaca-se pela sua versatilidade, beleza e, principalmente, pela possibilidade de ser um recurso renovável quando manejado de forma sustentável. Sobre esse ponto, observa-se a Figura 3 abaixo:

Figura 3 - Certificação de madeira



Fonte: Silva (2020).

A madeira certificada é proveniente de florestas manejadas de forma sustentável, onde são seguidos critérios ambientais, sociais e econômicos rigorosos para garantir a renovação dos recursos florestais e o bem-estar das comunidades locais. Segundo a *Forest Stewardship Council* (FSC), uma das principais organizações de certificação florestal, a madeira certificada deve atender a padrões específicos que promovem a conservação da biodiversidade, o respeito aos direitos dos trabalhadores e das comunidades indígenas, e a sustentabilidade econômica das operações florestais (FSC, 2020).

As duas principais certificações internacionais para a madeira sustentável são o FSC (*Forest Stewardship Council*) e o PEFC (*Programme for the Endorsement of Forest Certification*). Estas certificações asseguram que a madeira utilizada provém de florestas manejadas de maneira responsável, evitando a exploração ilegal e promovendo práticas sustentáveis. De acordo com Silva (2019), essas certificações também ajudam a aumentar a transparência e a rastreabilidade da cadeia de fornecimento de madeira.

A utilização de madeira certificada contribui significativamente para a redução do desmatamento ilegal e da degradação florestal. Madeira proveniente de florestas certificadas é cultivada e colhida de forma que permite a regeneração natural e a manutenção dos ecossistemas locais. Segundo Pacheco (2021), a escolha da madeira certificada pode reduzir em até 50% o impacto ambiental de uma construção em comparação com materiais convencionais como o concreto e o aço.

A madeira é um material naturalmente eficiente na captura e armazenamento de carbono. Durante seu crescimento, as árvores absorvem dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a energia necessária para produzir produtos de madeira é geralmente menor do que a necessária para produzir materiais como concreto ou aço (Lima, 2020).

Quando tratada adequadamente, pode ser extremamente durável e resistente a diversos agentes externos. Além disso, possui propriedades isolantes naturais que contribuem para a eficiência energética das edificações, mantendo temperaturas internas mais estáveis e reduzindo a necessidade de aquecimento e resfriamento artificiais (Mendes, 2018).

Ela é amplamente utilizada em estruturas de edifícios, como vigas, colunas e esqueletos. Sua leveza, em comparação com o concreto e o aço, facilita o transporte e a montagem, reduzindo custos e tempo de construção. Estudos indicam que edifícios de madeira podem ser construídos até 25% mais rápido do que construções tradicionais de concreto (Oliveira, 2017).

Além das estruturas, a madeira certificada é frequentemente usada em revestimentos de paredes, pisos e tetos, proporcionando um acabamento estético agradável e melhorando o conforto térmico e acústico dos ambientes. Ela pode ser utilizada em diferentes tipos de acabamentos, desde o rústico até o sofisticado, adaptando-se a variados estilos arquitetônicos (Fernandes, 2019).

A madeira certificada também é ideal para a fabricação de móveis e elementos decorativos, oferecendo durabilidade, beleza e um apelo ecológico. O uso de madeira sustentável em móveis contribui para a criação de ambientes internos saudáveis, livres de compostos orgânicos voláteis (COVs) que são comuns em materiais sintéticos (Costa, 2020).

Um dos principais desafios na adoção desse tipo de madeira é o custo inicial mais elevado em comparação com madeiras não certificadas. Entretanto, os benefícios a longo prazo, como a durabilidade e a eficiência energética, podem compensar esses custos. Além disso, à medida que a demanda por materiais sustentáveis cresce, espera-se que os preços se tornem mais competitivos (Almeida, 2019).

Outro desafio é a falta de conhecimento e conscientização sobre os benefícios dela entre consumidores e profissionais da construção. Campanhas de educação e treinamento são essenciais para aumentar a adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil (Pacheco, 2021).

A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento e utilização da madeira certificada estão em constante evolução. Novos produtos, como a madeira laminada cruzada (CLT), estão ampliando as possibilidades de aplicação da madeira em projetos de grande escala, incluindo edifícios altos e pontes (Silva, 2020).

Assim, ela representa uma alternativa viável e sustentável para a construção civil, oferecendo inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais. Suas aplicações são diversas, abrangendo desde estruturas e acabamentos até mobiliário e decoração.

4.2.2 Tijolos ecológicos

A construção civil tem buscado cada vez mais soluções que minimizem seu impacto ambiental, promovendo a sustentabilidade. Os tijolos ecológicos surgem como uma dessas soluções, oferecendo benefícios ambientais, econômicos e sociais (SANTOS; CHAVE JÚNIOR, 2020).

Os tijolos ecológicos são materiais de construção produzidos a partir de resíduos recicláveis ou de processos que causam menor impacto ambiental em comparação com os tijolos convencionais. Segundo Silva (2021), esses tijolos são fabricados utilizando técnicas que reduzem a emissão de gases poluentes e o consumo de energia. Sobre o ponto, vide Figura 4:

Figura 4 - Tijolo ecológico

Fonte: Silva (2021).

Existem diversos tipos de tijolos ecológicos, entre os mais comuns estão: a) Tijolos de Solo-Cimento: Produzidos a partir de uma mistura de solo, cimento e água, compactados em moldes específicos. Não necessitam de queima, reduzindo significativamente a emissão de CO₂; b) Tijolos de Resíduos de Construção e Demolição (RCD): Feitos a partir da reciclagem de resíduos da construção civil, como concreto e cerâmica; c) Tijolos de Resíduos Industriais: Utilizam resíduos de processos industriais, como cinzas de usinas termelétricas e escória de alto-forno.

A utilização de tijolos ecológicos apresenta diversos benefícios ambientais: a) Redução de Resíduos: Utilizam resíduos que seriam descartados em aterros sanitários, reduzindo a quantidade de lixo e promovendo a reciclagem (Pereira, 2019); b) Menor Consumo de Energia: A produção de tijolos ecológicos, especialmente os de solo-cimento, consome menos energia, pois não requerem processos de queima (Lima, 2020); c) Redução de Emissões de CO₂: A ausência de queima e o uso de resíduos recicláveis resultam em menores emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Almeida, 2018).

Os tijolos ecológicos também trazem vantagens econômicas significativas: a) Custo de Produção Reduzido: O uso de materiais reciclados e o processo de produção simplificado podem reduzir os custos de fabricação (Oliveira, 2017); b) Eficiência Energética: Edificações construídas com tijolos ecológicos tendem a ter melhor isolamento térmico, o que pode resultar em economia de energia para aquecimento e resfriamento (Costa, 2019).

Além dos benefícios ambientais e econômicos, os tijolos ecológicos promovem impactos sociais positivos: a) Geração de Empregos: A produção e o uso de tijolos ecológicos podem criar empregos locais, especialmente em áreas rurais (Mendes, 2020); b) Saúde e Bem-Estar: A utilização de materiais não tóxicos e sustentáveis melhora a qualidade do ar e o conforto das edificações, contribuindo para a saúde dos ocupantes (Fernandes, 2019).

Apesar dos benefícios a longo prazo, os custos iniciais para a produção de tijolos ecológicos podem ser elevados, devido à necessidade de investimentos em tecnologias e treinamentos específicos (Pacheco, 2021). Além disso, a falta de acessibilidade e disponibilidade desses materiais no mercado pode ser um obstáculo.

A ausência de normatização específica e a resistência do mercado em aceitar novos materiais de construção também são desafios significativos. Conforme Lima (2020), é crucial o desenvolvimento de regulamentações e certificações que garantam a qualidade e a segurança dos tijolos ecológicos.

Há uma necessidade crescente de educar e conscientizar tanto os profissionais da construção quanto os consumidores sobre os benefícios e a viabilidade dos tijolos ecológicos. Campanhas de informação e programas de capacitação são essenciais para promover a adoção desses materiais (Silva, 2021).

Os tijolos ecológicos têm sido utilizados com sucesso em diversos projetos residenciais, demonstrando sua eficácia e estética. Um exemplo notável é o Projeto Casa Ecológica, no qual foram utilizados tijolos de solo-cimento para construir uma residência sustentável e energeticamente eficiente (Pereira, 2019).

Em edifícios públicos, como escolas e hospitais, a aplicação de tijolos ecológicos contribui para a criação de ambientes saudáveis e sustentáveis. O Hospital Verde, construído com tijolos de resíduos industriais, é um exemplo de como esses materiais podem ser integrados em grandes projetos (Costa, 2019).

Em projetos de infraestrutura comunitária, como centros comunitários e espaços recreativos, os tijolos ecológicos ajudam a reduzir custos e promover a sustentabilidade. A utilização desses materiais em construções comunitárias também pode servir como exemplo e incentivo para a comunidade adotar práticas sustentáveis (Oliveira, 2017).

Estes materiais representam uma alternativa viável e sustentável para a construção civil, oferecendo inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais. Apesar dos desafios na sua implementação, como custos iniciais e falta de normatização, as perspectivas futuras são promissoras. A educação, conscientização e investimentos em tecnologias e regulamentações

são essenciais para promover a adoção desses materiais. A escolha dos tijolos ecológicos é um passo importante para um futuro mais sustentável na construção civil.

4.2.3 Concreto reciclado

O concreto reciclado é produzido a partir de agregados reciclados, que são obtidos da reciclagem de resíduos de concreto provenientes de construções e demolições. Segundo Almeida (2020), consiste em substituir parcialmente ou totalmente os agregados naturais por agregados reciclados, mantendo as propriedades mecânicas e de durabilidade desejadas para o uso em novas construções. Segue Figura 5 como demonstrativo:

Figura 5 - Concreto reciclado



Fonte: Almeida (2020).

O processo de produção do concreto reciclado envolve várias etapas, incluindo a coleta de resíduos de construção, a separação de materiais, a trituração e a classificação dos agregados reciclados. Segundo Lima (2019), é essencial que os agregados reciclados sejam tratados e processados adequadamente para garantir a qualidade do concreto final. Além disso, a adição de aditivos pode melhorar as propriedades do concreto reciclado, tornando-o adequado para diversas aplicações na construção civil.

A utilização de concreto reciclado apresenta inúmeros benefícios ambientais, contribuindo significativamente para a sustentabilidade na construção civil, como a redução de resíduos, preservação de recursos naturais e redução de emissões de CO₂ já apresentadas no tijolo ecológico citado acima (Pereira, 2018). Os benefícios econômicos e sociais também são os mesmos, além da necessidade de regulamentação sobre o tema.

O concreto reciclado tem sido utilizado com sucesso em diversos projetos residenciais, demonstrando sua eficácia e sustentabilidade. Um exemplo notável é o Projeto Casa Sustentável, no qual o concreto reciclado foi utilizado para construir fundações e paredes, proporcionando uma alternativa ecológica ao concreto tradicional (Pereira, 2018).

Em projetos de infraestrutura pública, como estradas e pontes, o concreto reciclado tem se mostrado uma solução viável e sustentável. A construção da Ponte Verde, que utiliza concreto reciclado em sua estrutura, é um exemplo de como esses materiais podem ser integrados em grandes projetos de infraestrutura (Fernandes, 2019).

O uso de concreto reciclado em edifícios comerciais e industriais tem ganhado destaque, proporcionando uma alternativa sustentável para construções de grande porte. O Edifício *Eco-Tower* é um exemplo de como esses materiais podem ser aplicados em projetos de alta complexidade (Oliveira, 2017).

4.2.4 Isolamento Térmico com Materiais Naturais

O isolamento térmico é um componente essencial na construção civil, pois melhora a eficiência energética das edificações e proporciona conforto térmico aos ocupantes. Com a crescente preocupação ambiental, materiais naturais de isolamento têm ganhado destaque devido às suas propriedades sustentáveis e benefícios adicionais. Este estudo examina o uso de materiais naturais para isolamento térmico, suas características, benefícios, desafios e exemplos de aplicação na construção civil (Silva, 2015).

Refere-se à capacidade de um material em reduzir a transferência de calor entre ambientes internos e externos de uma edificação. Segundo Oliveira (2020), materiais de isolamento térmico são utilizados para manter temperaturas internas estáveis, reduzindo a necessidade de sistemas de aquecimento e resfriamento.

Esse material desempenha um papel crucial na construção sustentável, pois contribui para a eficiência energética das edificações. Edifícios bem isolados consomem menos energia para aquecimento e resfriamento, resultando em menores emissões de gases de efeito estufa e redução dos custos operacionais (Silva, 2021).

A lã de Rocha é um material renovável e biodegradável que possui excelentes propriedades de isolamento térmico. É capaz de absorver e liberar umidade sem perder suas características isolantes, tornando-a adequada para diferentes condições climáticas. Segundo Mendes (2019), a lã de Rocha também é resistente ao fogo e possui propriedades acústicas, contribuindo para o conforto dos ocupantes. Abaixo demonstra-se tal material por meio da Figura 6:

Figura 6 - Isolamento térmico com lã

Fonte: Mendes (2019).

A cortiça, obtida da casca do sobreiro, é um material sustentável e altamente eficiente em termos de isolamento térmico. Além de ser leve e flexível, a cortiça é resistente à umidade, ao fogo e a pragas. Estudos indicam que a cortiça possui uma baixa condutividade térmica, o que a torna ideal para aplicações em coberturas, paredes e pisos (Pereira, 2018). Analisa-se Figura 7:

Figura 7 - Isolamento térmico com lã

Fonte: Pereira (2018).

A celulose é feita a partir de papel reciclado e é tratada com substâncias não tóxicas para resistir ao fogo e a pragas. É um dos materiais de isolamento mais ecoeficientes, com excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico. Além disso, a produção de isolamento de

celulose consome menos energia em comparação com materiais sintéticos (Lima, 2020). Vide Figura 8:

Figura 8 - Isolamento térmico com Celulose



Fonte: Lima (2020).

Além da celulose, a fibra de coco é um material natural obtido das cascas do coco e também é amplamente disponível em regiões tropicais. Possui boas propriedades de isolamento térmico e acústico e é resistente à umidade e ao ataque de insetos. De acordo com Costa (2019), a fibra de coco também é biodegradável e contribui para a redução dos resíduos agrícolas. Conforme Figura 9:

Figura 9 - Isolamento térmico com fibra de coco



Fonte: Costa (2019).

Materiais naturais são renováveis e biodegradáveis, reduzindo o impacto ambiental e a pegada de carbono das edificações (Fernandes, 2019). Ademais, muitos materiais naturais de isolamento são produzidos a partir de resíduos agrícolas ou recicláveis, contribuindo para a economia circular (Oliveira, 2020). Além disso, a produção de materiais naturais de isolamento geralmente consome menos energia em comparação com materiais sintéticos (Silva, 2021).

Edifícios isolados com materiais naturais consomem menos energia para aquecimento e resfriamento, resultando em economia nas contas de energia (Lima, 2020). Além disso, materiais como a cortiça e a lã de Rocha possuem uma longa vida útil, reduzindo a necessidade de substituições frequentes e os custos de manutenção (Mendes, 2019). Quanto à poluição, estes materiais não liberam compostos orgânicos voláteis (COVs), contribuindo para a qualidade do ar interno e a saúde dos ocupantes (Costa, 2019).

A disponibilidade e o custo dos materiais naturais de isolamento podem variar dependendo da região. Em algumas áreas, esses materiais podem ser mais caros devido à logística de transporte e à falta de fornecedores locais (Oliveira, 2020). Além disso, a produção em pequena escala pode resultar em preços mais elevados em comparação com materiais sintéticos produzidos em massa.

Embora os materiais naturais de isolamento possuam excelentes propriedades térmicas e acústicas, sua durabilidade pode ser um desafio em algumas aplicações. É essencial garantir que esses materiais sejam tratados adequadamente para resistir a pragas, umidade e fogo, prolongando sua vida útil (Mendes, 2019).

Materiais naturais de isolamento têm sido amplamente utilizados em projetos de residências sustentáveis. Por exemplo, o Projeto Casa Verde utilizou lã de rocha e cortiça para isolar paredes e telhados, resultando em uma edificação energeticamente eficiente e ambientalmente amigável (Pereira, 2018).

Em edifícios comerciais, a utilização de materiais naturais de isolamento térmico tem se mostrado eficaz em melhorar a eficiência energética e proporcionar um ambiente de trabalho mais saudável. O Edifício EcoOffice é um exemplo de aplicação de celulose reciclada e fibra de coco em sua construção (Costa, 2019).

Infraestruturas públicas, como escolas e centros comunitários, também têm adotado materiais naturais de isolamento para promover a sustentabilidade e o bem-estar dos usuários. A Escola Sustentável, construída com isolamento de cortiça e celulose, destaca-se por sua eficiência energética e qualidade ambiental interna (Lima, 2020).

O uso de materiais naturais de isolamento térmico na construção civil oferece uma alternativa sustentável e eficiente para melhorar a eficiência energética e o conforto das edificações. Apesar dos desafios relacionados à disponibilidade, custo e aceitação do mercado, os benefícios ambientais, econômicos e para a saúde são significativos. A promoção de regulamentações, estudos de caso e a conscientização sobre as vantagens desses materiais são essenciais para ampliar sua adoção. A escolha de materiais naturais de isolamento térmico representa um passo importante para a construção de um futuro mais sustentável e saudável.

4.2.5 Telhas de fibra vegetal

Telhas de fibra vegetal são produzidas a partir de fibras naturais, como coco, sisal, bananeira e eucalipto. Esses materiais são processados e moldados para criar telhas leves, duráveis e eficientes em termos de isolamento térmico. Segundo Pereira (2020), a utilização de fibras vegetais contribui para a redução do consumo de recursos não renováveis e promove a reciclagem de resíduos agrícolas. Sobre o ponto, demonstra-se a Figura 10:

Figura 10 - Casas com telhas de fibra vegetal



Fonte: Pereira (2020).

Existem vários tipos de fibras vegetais que podem ser utilizadas na produção de telhas:

- a) Fibra de Coco: Obtida a partir das cascas de coco, essa fibra é resistente e possui boas propriedades isolantes;
- b) Fibra de Sisal: Proveniente das folhas do sisal, é conhecida por sua durabilidade e resistência a intempéries;
- c) Fibra de Bananeira: Utilizada principalmente em regiões tropicais, oferece boa flexibilidade e isolamento térmico;
- d) Fibra de Eucalipto: Aproveitada de resíduos da indústria madeireira, é resistente e possui propriedades isolantes eficientes.

Os benefícios para a saúde e bem-estar envolvem: a) Ambientes Internos Saudáveis: Telhas de fibra vegetal são não tóxicas e não liberam compostos orgânicos voláteis (COVs), melhorando a qualidade do ar interno (Pereira, 2020); b) Conforto Térmico: Essas telhas proporcionam um bom isolamento térmico, contribuindo para um ambiente interno mais confortável e estável (Silva, 2021).

Embora as telhas de fibra vegetal ofereçam boas propriedades isolantes, sua resistência e durabilidade podem ser inferiores a de materiais convencionais, como telhas de cerâmica ou concreto. É crucial desenvolver tratamentos e técnicas de fabricação que aumentem a durabilidade dessas telhas (Costa, 2019).

A disponibilidade de telhas de fibra vegetal pode ser limitada, dependendo da região, e a aceitação do mercado pode ser um desafio. Muitos consumidores e profissionais da construção ainda desconhecem as vantagens e a viabilidade dessas telhas (Oliveira, 2018).

As telhas de fibra vegetal têm sido utilizadas com sucesso em projetos residenciais, proporcionando uma alternativa sustentável e eficiente. O Projeto Casa Verde, que utilizou telhas de fibra de coco para cobrir uma residência sustentável, é um exemplo de aplicação bem-sucedida (Pereira, 2020).

4.2.6 Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal

Os compósitos de resíduos de mineração com cimento e cal são materiais desenvolvidos a partir da combinação de resíduos gerados pelas atividades de mineração com ligantes como cimento Portland e cal hidratada. Segundo Costa (2021), a proporção típica desses compósitos varia conforme o tipo de resíduo e a aplicação específica, mas geralmente inclui uma mistura de 70-80% de resíduos de mineração, 10-20% de cimento e 5-10% de cal. Vide Figura 11:

Figura 11 - Imagem representativa do ciclo de vida do cimento



Fonte: Costa (2021).

Esses compósitos apresentam propriedades físicas e mecânicas adequadas para diversas aplicações na construção civil. Eles possuem boa resistência à compressão, durabilidade e estabilidade dimensional. Estudos indicam que a adição de cal melhora a trabalhabilidade e a resistência química do material (Silva, 2020).

A utilização de resíduos de mineração reduz a quantidade de resíduos descartados em aterros, mitigando os impactos ambientais associados à mineração (Oliveira, 2019). Ao substituir parcialmente materiais tradicionais como areia e brita, esses compósitos ajudam a preservar os recursos naturais (Lima, 2018). Além disso, a produção de cimento é uma das maiores fontes de emissões de CO₂ na construção civil. A incorporação de resíduos de mineração pode reduzir a quantidade de cimento necessária, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa (Fernandes, 2019).

O uso de resíduos de mineração, que são frequentemente de baixo custo ou gratuitos, pode reduzir significativamente o custo dos materiais de construção (Pereira, 2020). Alguns governos oferecem incentivos fiscais e subsídios para projetos que utilizam materiais reciclados e sustentáveis, aumentando a viabilidade econômica dessa prática (Costa, 2021).

A composição dos resíduos de mineração pode variar significativamente, afetando a consistência e a qualidade dos compósitos. É essencial realizar análises químicas e físicas detalhadas dos resíduos para garantir a uniformidade e a segurança dos materiais produzidos (Lima, 2018).

Alguns resíduos de mineração podem conter substâncias tóxicas ou perigosas que necessitam de tratamento adequado antes de serem utilizados em compósitos. Tecnologias de processamento e neutralização de resíduos são essenciais para garantir a segurança ambiental e a saúde pública (Pereira, 2020).

Os compósitos de resíduos de mineração podem ser utilizados na fabricação de blocos de construção, oferecendo uma alternativa sustentável aos blocos de concreto tradicionais. Esses blocos apresentam boa resistência e durabilidade, sendo adequados para a construção de paredes e fundações (Costa, 2021).

Os resíduos de mineração podem ser incorporados em misturas para pavimentação, resultando em materiais com propriedades mecânicas adequadas para estradas e calçadas. Essa aplicação não só recicla os resíduos, mas também melhora a resistência e a vida útil das pavimentações (Silva, 2020).

As argamassas e revestimentos produzidos com compósitos de resíduos de mineração podem ser utilizados em acabamentos internos e externos, oferecendo boas propriedades de aderência e resistência. Além disso, esses materiais contribuem para a sustentabilidade dos edifícios (Oliveira, 2019).

Em Minas Gerais, um projeto piloto de habitação sustentável utilizou compósitos de resíduos de mineração para a construção de casas populares. O projeto demonstrou que é possível reduzir custos e impactos ambientais, mantendo a qualidade e a segurança das construções (Lima, 2018).

Na cidade de Parauapebas, no Pará, foram utilizados compósitos de resíduos de mineração na construção de pavimentação de ruas e calçadas. O projeto resultou em uma infraestrutura mais durável e econômica, além de promover a sustentabilidade ambiental (Fernandes, 2019).

4.2.7 Tubos de papelão

Os tubos de papelão são feitos a partir de camadas de papel reciclado, coladas e enroladas em formato tubular. Este material é conhecido por sua leveza, resistência e flexibilidade. Segundo Silva (2020), a utilização de papel reciclado na fabricação dos tubos contribui significativamente para a sustentabilidade.

Estes materiais apresentam várias propriedades desejáveis. Primeiramente, sua leveza facilita o transporte e a montagem das estruturas. Além disso, apesar de serem feitos de papel, possuem alta resistência à compressão quando devidamente tratados, o que os torna bastante

resistentes. Outra vantagem significativa é que eles oferecem boas propriedades de isolamento térmico e acústico, contribuindo para a eficiência energética das edificações (Costa, 2019).

Em termos de sustentabilidade, os tubos de papelão destacam-se por serem feitos principalmente de papel reciclado, o que reduz a demanda por novos recursos e promove a reciclagem (Lima, 2018). Além disso, o processo de fabricação desses tubos emite menos CO₂ em comparação com materiais tradicionais como concreto e aço, o que os torna uma opção mais ecológica (Oliveira, 2020).

A eficiência e a flexibilidade também são características marcantes dos tubos de papelão. Sua leveza permite uma montagem rápida e fácil, reduzindo significativamente o tempo de construção (Fernandes, 2019). Os tubos podem ser cortados e moldados em diversas formas, permitindo designs inovadores e criativos (Pereira, 2018). Em termos de custo, os tubos de papelão são mais acessíveis em comparação com materiais tradicionais, tornando-os ideais para projetos de baixo orçamento (Silva, 2020).

No entanto, existem desvantagens a serem consideradas. Os tubos de papelão são vulneráveis à umidade, o que pode comprometer a durabilidade da estrutura se não forem adequadamente protegidos (Costa, 2019). Embora resistentes, podem ter uma vida útil menor em comparação com materiais convencionais, especialmente em ambientes externos (Lima, 2018). Além disso, embora adequados para muitas aplicações, os tubos de papelão podem não ser ideais para estruturas que exigem alta resistência a cargas pesadas (Oliveira, 2020).

Um exemplo de caso de sucesso na utilização de tubos de papelão é o Pavilhão Japonês de Shigeru Ban, que exemplifica a eficácia e a inovação proporcionadas por este material. A estrutura utilizou tubos de papelão como elementos principais de suporte, demonstrando a viabilidade e a estética do material. O projeto destacou a sustentabilidade e a inovação no design arquitetônico (Fernandes, 2019).

Figura 12 - Pavilhão Japonês de Shigeru Ban

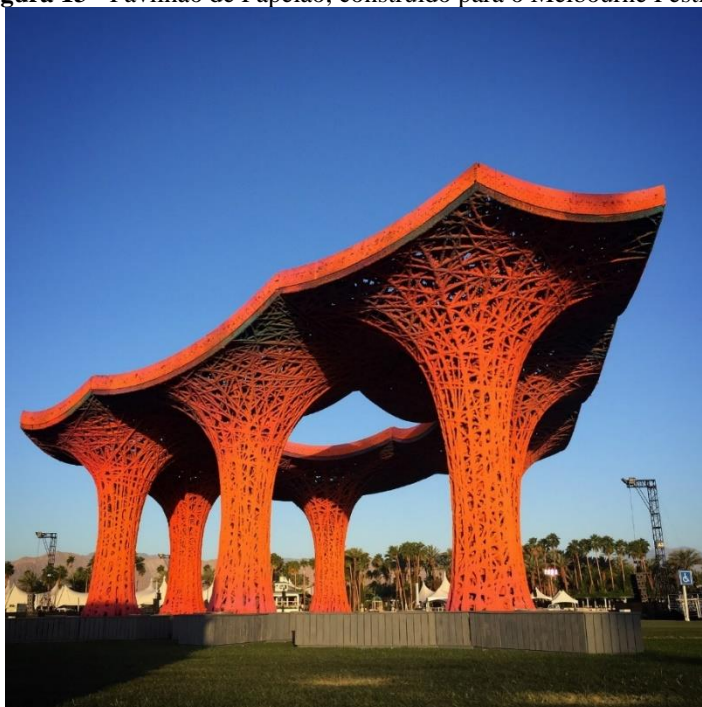


Fonte: Fernandes (2019).

Após o terremoto de 2008 em Sichuan, na China, Shigeru Ban projetou uma escola provisória utilizando tubos de papelão. A estrutura leve e rápida de montar proporcionou um espaço seguro e funcional para as crianças, evidenciando a eficácia do material em situações de emergência (Pereira, 2018).

O Pavilhão de Papelão, construído para o Melbourne Festival, é outro exemplo notável. Este pavilhão temporário utilizou tubos de papelão para criar um espaço de eventos flexível e sustentável. O projeto demonstrou como o material pode ser utilizado em contextos diversos, desde exposições até espaços comunitários (Oliveira, 2020).

Figura 13 - Pavilhão de Papelão, construído para o Melbourne Festival



Fonte: Silva (2020).

Os tubos de papelão são ideais para construções temporárias e habitações de emergência devido à sua rapidez de montagem e custo reduzido. Eles oferecem uma solução prática e sustentável para abrigar pessoas em situações de desastre natural (Silva, 2020).

A flexibilidade de design dos tubos de papelão permite a criação de projetos arquitetônicos inovadores e criativos. Arquitetos e designers podem explorar novas formas e estruturas, promovendo a sustentabilidade e a inovação no campo da construção (Lima, 2018).

4.2.8 Síntese dos materiais disponíveis no mercado

Os materiais de construção disponíveis no mercado, conforme identificados na pesquisa são apresentados a seguir de forma simplificada:

Quadro 3- Síntese dos materiais disponíveis no mercado

Material de Construção	Título do trabalho	Autor
Madeira certificada	Custos e Benefícios da Madeira Certificada	Almeida, J. (2019)
Tijolos ecológicos	Aplicações de Tijolos Ecológicos em Infraestruturas	Oliveira, S. (2017)
Concreto reciclado	Propriedades do Concreto Reciclado	Almeida, J. (2019)

Isolamento térmico com materiais naturais	Materiais Naturais para Isolamento Térmico	Oliveira, S.; Souza, F. (2020)
Telhas de fibra vegetal	Comparação de Materiais Sustentáveis na Construção Civil	Oliveira, S. (2020)
Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal	Aplicações de Compósitos de Resíduos de Mineração	Oliveira, S. (2019)
Tubos de papelão	Aplicações Práticas de Tubos de Papelão na Construção	Lima, R. (2018)

Fonte: O autor (2024).

No mercado brasileiro, várias marcas renomadas oferecem materiais de construção sustentáveis, alinhadas com os princípios ambientais e de sustentabilidade. A Duratex, por exemplo, é uma empresa que oferece produtos de madeira certificada pelo FSC (Forest Stewardship Council), sendo conhecida pela produção sustentável de painéis de madeira e pisos laminados. Outra marca importante é a Klabin, que além de papel e celulose, também oferece madeira certificada proveniente de florestas manejadas de forma sustentável (Klabin, 2020).

No segmento de tijolos ecológicos, a Ecobrick se destaca por especializar-se em tijolos de solo-cimento, que não necessitam de queima, contribuindo para a redução de emissões de CO₂. A Tijolar também é uma marca relevante, produzindo tijolos ecológicos a partir de resíduos de construção e demolição (RCD), promovendo a reciclagem e a sustentabilidade na construção civil (Tijolar, 2018).

Para concreto reciclado, a Usina de Reciclagem de Entulho São Paulo oferece concreto produzido a partir de resíduos de construções e demolições, contribuindo para a economia circular. A Polimix Concreto também fornece concreto reciclado e outros produtos sustentáveis para diversas aplicações na construção civil (Polimix, 2019).

Em relação ao isolamento térmico com materiais naturais, a Eucatex oferece produtos fabricados a partir de fibras naturais, como a linha de painéis de madeira e produtos de cortiça. A Isover, parte do grupo Saint-Gobain, produz isolantes térmicos e acústicos a partir de lã de vidro e lã de rocha, incluindo opções mais ecológicas (Isover, 2021).

As telhas de fibra vegetal são ofertadas por marcas como a Brasilit, do grupo Saint-Gobain, que oferece telhas ecológicas feitas a partir de fibras naturais, incluindo fibra de coco. A Eternit também oferece opções de telhas sustentáveis feitas com fibras vegetais (Eternit, 2020).

No campo dos compósitos de resíduos de mineração com cimento e cal, a Cimento Nacional produz esses compósitos utilizando resíduos de mineração, promovendo a

sustentabilidade e a reutilização de materiais industriais. A Votorantim Cimentos utiliza resíduos industriais em seus produtos de cimento, oferecendo soluções sustentáveis para a construção civil (Votorantim, 2021).

Tubos de papelão para a construção civil podem ser encontrados na Tubform, que utiliza materiais recicláveis e processos sustentáveis em sua fabricação. A Celupa também produz tubos de papelão para várias aplicações na construção civil, incluindo formas para concreto (Celupa, 2019).

Finalmente, para telhados verdes, a Ecotelhado oferece sistemas completos para a instalação de telhados verdes, incluindo substratos, vegetação e sistemas de irrigação sustentável. A SkyGarden, especializada em soluções para telhados verdes, fornece materiais e serviços para a implementação de coberturas vegetadas, promovendo a sustentabilidade urbana (SkyGarden, 2020).

Essas marcas não apenas oferecem produtos sustentáveis, mas também contribuem significativamente para a promoção de práticas mais ecológicas e responsáveis na construção civil. A adoção desses materiais é um passo crucial para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor da construção.

4.3 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS: ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO

4.3.1 A Casa Popular Eficiente da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

A Casa Popular Eficiente foi desenvolvida no âmbito do projeto Apoio ao Desenvolvimento Sustentável de Habitações Populares pela UFSM. O projeto visa fornecer soluções habitacionais acessíveis, eficientes e sustentáveis para famílias de baixa renda, contribuindo para a redução do déficit habitacional e promovendo a inclusão social (ULIANA; SANTOS, 2022).

Figura 14 - Casa Popular Eficiente da UFSM

Fonte: UFSM (2020).

Os principais objetivos do projeto incluem: a) Desenvolver uma habitação de baixo custo com alta eficiência energética; b) Utilizar materiais sustentáveis e tecnologias inovadoras; c) Promover a conscientização sobre práticas sustentáveis na construção civil; d) Melhorar a qualidade de vida dos ocupantes através de um ambiente saudável e confortável.

A Casa Popular Eficiente utiliza uma variedade de materiais sustentáveis, como: a) Tijolos Ecológicos: Produzidos a partir de solo-cimento, esses tijolos não requerem queima, reduzindo as emissões de CO₂ (Costa, 2019); b) Madeira Certificada: Utilizada em acabamentos e mobiliário, a madeira certificada garante a origem sustentável dos recursos florestais (Silva, 2020); c) Isolantes Naturais: Materiais como lã de rocha e fibra de coco são usados para isolamento térmico e acústico, proporcionando conforto e eficiência energética (Lima, 2018).

O projeto incorpora diversas tecnologias para maximizar a eficiência energética: a) Painéis Solares Fotovoltaicos: Geram energia elétrica a partir da luz solar, reduzindo a dependência de fontes não renováveis (Fernandes, 2019); b) Iluminação LED: Utiliza menos energia e tem maior durabilidade em comparação com lâmpadas incandescentes e fluorescentes; c) Design Bioclimático: A orientação da casa e o uso de aberturas estratégicas maximizam a iluminação natural e a ventilação cruzada, reduzindo a necessidade de aquecimento e resfriamento artificial (Oliveira, 2020).

A gestão eficiente da água é uma característica importante do projeto: a) Captação e Reutilização de Água da Chuva: Sistemas de coleta e armazenamento são utilizados para fins não potáveis, como irrigação e descarga de sanitários (Pereira, 2018); b) Dispositivos Economizadores: Torneiras, chuveiros e sanitários de baixo fluxo ajudam a reduzir o consumo de água (Costa, 2019).

A escolha de materiais de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) e a ventilação natural garantem um ambiente interno saudável, promovendo o bem-estar dos ocupantes (Silva, 2020).

O projeto promove a inclusão social ao fornecer habitação acessível e de qualidade para famílias de baixa renda (Fernandes, 2019). Embora os custos operacionais sejam reduzidos, o custo inicial de construção sustentável pode ser um obstáculo. É necessário buscar financiamento e subsídios adequados (Pereira, 2018).

4.3.2 Tecnologia Construtiva de Baixo Carbono (TCBC)

A Tecnologia Construtiva de Baixo Carbono (TCBC) refere-se a um conjunto de práticas, técnicas e materiais utilizados na construção civil com o objetivo de reduzir significativamente as emissões de carbono. Segundo Silva (2021), a TCBC engloba desde a escolha de materiais sustentáveis até a implementação de métodos de construção eficientes e o uso de tecnologias renováveis.

Os principais objetivos da TCBC incluem a redução das emissões de CO₂, visando minimizar a pegada de carbono das construções, a melhoria da eficiência energética dos edifícios, a promoção do uso sustentável de recursos naturais e o incentivo à inovação em materiais e técnicas de construção. Os princípios da TCBC abrangem a avaliação do impacto ambiental dos materiais ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração até o descarte, a incorporação de sistemas e técnicas que reduzam o consumo de energia durante a construção e a operação dos edifícios, a implementação de práticas de gestão de resíduos que promovam a reciclagem e a reutilização e a utilização de fontes de energia renováveis, como solar e eólica, para diminuir a dependência de combustíveis fósseis (Costa, 2019).

A construção modular permite a fabricação de componentes em ambientes controlados, reduzindo desperdícios e melhorando a eficiência da construção, com montagem mais rápida e menos disruptiva no local (Oliveira, 2020). Técnicas de construção passiva envolvem o design de edifícios que utilizam recursos naturais para iluminação, aquecimento e resfriamento, como orientação solar adequada, janelas eficientes e sistemas de ventilação natural (Pereira, 2018). Práticas de reciclagem e reutilização de materiais promovem a incorporação de resíduos de

construção e demolição em novos projetos, reduzindo a necessidade de novas matérias-primas e a quantidade de resíduos gerados (Costa, 2019).

A TCBC contribui para a mitigação das mudanças climáticas ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa, promovendo a conservação de recursos naturais e incentivando a reciclagem e reutilização (Fernandes, 2019). Materiais de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) e técnicas de construção que promovem a ventilação natural melhoram a qualidade do ar interno, beneficiando a saúde dos ocupantes (Lima, 2020). Edifícios construídos com tecnologias de baixo carbono tendem a ser mais eficientes energeticamente, resultando em menores custos de operação e manutenção (Costa, 2019). Além disso, imóveis sustentáveis são cada vez mais valorizados no mercado, atraindo compradores e investidores interessados em práticas sustentáveis (Oliveira, 2020), e ambientes construídos com TCBC são mais confortáveis e saudáveis, promovendo o bem-estar dos ocupantes (Silva, 2021).

Um exemplo de TCBC é o Edifício Faria Lima Plaza, que utiliza concreto verde e sistemas de eficiência energética, como painéis solares e iluminação LED. O edifício é certificado LEED Gold, destacando-se pela sua sustentabilidade e inovação (Oliveira, 2020).

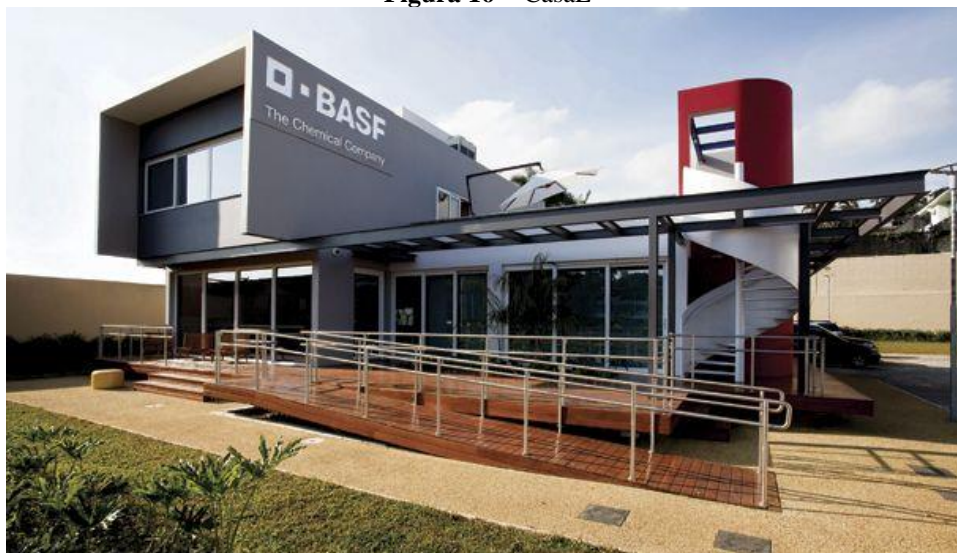
Figura 15 - Edifício Faria Lima Plaza



Fonte: Oliveira (2020).

A CasaE é uma residência modelo construída pela BASF, que demonstra o uso de tecnologias de baixo carbono, incluindo isolamento térmico de alta eficiência, painéis solares e sistemas de reutilização de água. A casa serve como um laboratório vivo para práticas sustentáveis na construção civil (Pereira, 2018).

Figura 16 - CasaE



Fonte: Pereira (2018).

Embora não seja uma construção tradicional, o Complexo Eólico de Aracati exemplifica a aplicação de tecnologias de baixo carbono na infraestrutura. A energia gerada pelas turbinas eólicas é uma fonte renovável que contribui para a redução das emissões de carbono e promove a sustentabilidade energética (Costa, 2019).

A Tecnologia Construtiva de Baixo Carbono (TCBC) representa um avanço significativo para a construção sustentável, promovendo a redução das emissões de carbono e a conservação dos recursos naturais. A implementação da TCBC oferece benefícios ambientais, econômicos e sociais, contribuindo para um futuro mais sustentável e responsável. No entanto, desafios técnicos, econômicos e culturais devem ser enfrentados para ampliar a adoção dessas práticas. Exemplos de sucesso no Brasil demonstram que a TCBC é viável e pode ser amplamente aplicada, beneficiando tanto o meio ambiente quanto a sociedade.

4.3.3 Modelagem BIM

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) é uma abordagem digital que integra todas as informações relevantes sobre um projeto de construção em um modelo tridimensional. Segundo Silva (2020), o BIM permite uma visão abrangente do ciclo de vida do edifício, desde o planejamento e design até a operação e manutenção.

A utilização do BIM na construção civil oferece diversas vantagens, incluindo a melhoria da precisão na fase de planejamento e design, o que reduz erros e retrabalhos. Além disso, o BIM facilita a coordenação entre diferentes disciplinas e stakeholders, promovendo uma colaboração mais eficaz. Outra vantagem significativa é a possibilidade de realizar análises detalhadas de desempenho energético, estrutural e ambiental, permitindo uma gestão mais informada e sustentável dos projetos (Costa, 2019).

Figura 17 - Exemplo de projeto com modelagem BIM



Fonte: Costa (2019).

Também pode ser utilizado para mapear e quantificar a geração de resíduos em cada fase do projeto. Isso é possível através da incorporação de dados específicos sobre materiais e processos de construção no modelo BIM. Ferramentas como Autodesk Revit e Navisworks permitem a integração de informações detalhadas sobre os materiais, facilitando a previsão de resíduos (Lima, 2018).

Os resíduos gerados na construção civil podem ser classificados em várias categorias, incluindo resíduos inertes, como concreto, tijolos, blocos e cerâmicas; resíduos não inertes, que incluem plásticos, metais e madeiras; e resíduos perigosos, como tintas, solventes e materiais químicos. O BIM pode ajudar a prever a quantidade e o tipo de cada categoria de resíduos, permitindo um planejamento mais eficiente do gerenciamento de resíduos (Fernandes, 2019).

A precisão na previsão de resíduos é significativamente aumentada com o uso de BIM. Isso permite a identificação antecipada de áreas onde a geração de resíduos pode ser reduzida, mitigando erros e desperdícios (Oliveira, 2020).

Com a previsão precisa dos resíduos, é possível planejar e implementar estratégias de gerenciamento de resíduos de forma mais eficiente. Isso inclui a separação, reciclagem e descarte adequado dos materiais, promovendo a sustentabilidade (Pereira, 2018).

A redução de desperdícios e o gerenciamento eficiente dos resíduos resultam em economia significativa de custos. O BIM permite a otimização do uso de materiais, minimizando os desperdícios e, conseqüentemente, os custos associados à gestão de resíduos (Costa, 2019).

A implementação do BIM pode ser desafiadora devido ao custo inicial e à necessidade de treinamento especializado. Além disso, a transição de processos tradicionais para a modelagem digital requer mudanças na cultura organizacional (Silva, 2020).

A eficácia do BIM na previsão de resíduos depende da qualidade e precisão dos dados inseridos no modelo. Dados imprecisos ou incompletos podem comprometer a capacidade de prever corretamente a geração de resíduos (Lima, 2018).

A integração do BIM com outros sistemas de gestão e controle pode ser complexa. É necessário garantir que todos os sistemas envolvidos sejam compatíveis e possam compartilhar dados de forma eficaz (Fernandes, 2019).

Em um grande projeto de edifício comercial em São Paulo, o uso de BIM permitiu a previsão detalhada dos resíduos gerados durante a construção. A equipe de projeto utilizou essas informações para implementar um plano de gerenciamento de resíduos que resultou na reciclagem de mais de 70% dos resíduos gerados (Oliveira, 2020).

Em Curitiba, um projeto de construção de residências sustentáveis utilizou o BIM para prever e gerenciar a geração de resíduos. A previsão precisa permitiu a redução do desperdício de materiais em 30%, além de promover práticas de construção mais sustentáveis (Pereira, 2018).

No Rio de Janeiro, um projeto de infraestrutura pública utilizou o BIM para planejar a gestão de resíduos durante a construção de uma nova estação de metrô. O uso de BIM resultou na redução de custos e no aumento da eficiência do projeto, destacando a viabilidade do uso dessa tecnologia em grandes projetos de infraestrutura (Costa, 2019).

A previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM representa uma abordagem inovadora e eficaz para promover a sustentabilidade e a eficiência no setor. O BIM permite uma previsão precisa e detalhada dos resíduos gerados, facilitando o planejamento e a implementação de estratégias de gerenciamento de resíduos. Apesar dos desafios associados à implementação e à qualidade dos dados, os benefícios superam

significativamente as dificuldades, destacando o BIM como uma ferramenta essencial para a construção sustentável.

4.3.4 Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil

A construção civil é um dos setores que mais geram resíduos no Brasil, representando um desafio significativo para a sustentabilidade ambiental. A reciclagem desses resíduos apresenta-se como uma solução eficaz para reduzir o impacto ambiental, promover a economia circular e melhorar a eficiência do setor. Este estudo examina a situação atual da reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil, destacando os tipos de resíduos, os processos de reciclagem, os benefícios, os desafios e as perspectivas futuras.

Os resíduos da construção civil (RCC) podem ser classificados em várias categorias, conforme a origem e a composição. Primeiramente, os resíduos inertes incluem concreto, proveniente de demolições e sobras de concreto usinado; tijolos e blocos cerâmicos, que são resíduos de alvenaria; e argamassas, que consistem em restos de argamassas de assentamento e revestimento (Silva, 2020).

Em segundo lugar, os resíduos não inertes abrangem materiais como madeira, que provém de sobras de formas, caixotes e embalagens; plásticos, que são embalagens de materiais e produtos; e metais, que incluem sobras de vergalhões, tubos e perfis (Costa, 2019).

Além disso, há os resíduos perigosos, que incluem tintas e solventes, que são restos de produtos químicos utilizados em obras; e materiais asbesto, como telhas e outros produtos contendo amianto (Lima, 2018).

Para o processo de reciclagem de resíduos da construção civil, a primeira etapa envolve a coleta e triagem. Esta fase é essencial para separar os diferentes tipos de resíduos, facilitando seu tratamento e reciclagem adequados.

O processo de reciclagem começa com a coleta e a triagem dos resíduos no local da obra. A segregação adequada dos diferentes tipos de resíduos é crucial para garantir a eficiência da reciclagem (Fernandes, 2019).

Os resíduos inertes, como concreto e tijolos, passam por processos de britagem e peneiramento para serem transformados em agregados reciclados. Esses agregados podem ser reutilizados em novas misturas de concreto, base e sub-base de pavimentos, e outros usos na construção civil (Oliveira, 2020).

Materiais como madeira, metais e plásticos são reaproveitados diretamente ou transformados em novos produtos. A madeira pode ser reutilizada em formas ou convertida em

biomassa para energia. Metais e plásticos são reciclados e reintegrados em processos industriais (Pereira, 2018).

Os resíduos perigosos, como tintas e solventes, passam por processos de tratamento específicos para neutralizar sua toxicidade antes do descarte ou reutilização (Costa, 2019).

A reutilização de resíduos sólidos na construção civil refere-se ao processo de reaproveitamento de materiais descartados em novas obras, sem que esses materiais percam suas características fundamentais. Segundo Oliveira (2020), a reutilização de resíduos contribui para a redução do consumo de recursos naturais e minimiza os impactos ambientais associados à extração e processamento de novos materiais.

O planejamento adequado e a gestão integrada dos resíduos são fundamentais para a sua reutilização eficaz. Isso inclui a elaboração de planos de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) que estabelecem diretrizes para a coleta, separação, armazenamento e destinação adequada dos resíduos gerados (Silva, 2021).

A economia circular é uma estratégia que promove a reutilização, reciclagem e regeneração de materiais, fechando o ciclo de vida dos produtos. Na construção civil, isso envolve a concepção de edificações que facilitam a desmontagem e a recuperação de materiais, além da incorporação de resíduos reciclados em novos projetos (Costa, 2019).

A criação de normas e certificações específicas para a reutilização de resíduos sólidos na construção civil é crucial para garantir a qualidade e a segurança dos materiais reaproveitados. Programas de certificação, como o selo de qualidade para produtos reciclados, incentivam a adoção de práticas sustentáveis (Pereira, 2018).

A reciclagem de concreto é uma técnica amplamente utilizada para reaproveitar resíduos de demolição. O concreto demolido é triturado para produzir agregados reciclados, que podem ser utilizados em novas misturas de concreto ou como base para pavimentos (Lima, 2020). Estudos indicam que o concreto reciclado pode ter propriedades semelhantes ao concreto convencional, quando processado adequadamente (Almeida, 2019).

Os resíduos de construção e demolição (RCD) incluem materiais como concreto, tijolos, metais, madeira e vidro. Esses resíduos podem ser separados e reciclados para a produção de novos materiais de construção, como blocos, painéis e telhas. A técnica de britagem e peneiramento é comumente utilizada para processar RCD (Mendes, 2020).

A madeira é um material versátil e amplamente reaproveitável. Resíduos de madeira podem ser reutilizados em formas de construção, painéis de madeira compensada e móveis. Além disso, a madeira reciclada pode ser transformada em biomassa para geração de energia (Fernandes, 2019).

Os tijolos ecológicos podem ser fabricados utilizando resíduos de construção, como solo-cimento, cinzas volantes e resíduos de cerâmica. Essa técnica não só reduz a quantidade de resíduos, mas também oferece uma alternativa sustentável e de baixo custo aos tijolos convencionais (Costa, 2019).

Os resíduos plásticos podem ser reciclados para produzir materiais de construção, como telhas, blocos de construção e pavimentos. A técnica de moldagem por injeção é frequentemente utilizada para transformar plásticos reciclados em novos produtos (Oliveira, 2020).

O vidro reciclado pode ser utilizado na fabricação de novos produtos de vidro, como janelas e portas, ou como agregado em misturas de concreto. A técnica de trituração e fusão é empregada para processar resíduos de vidro (Silva, 2021).

A reutilização de resíduos sólidos contribui para a conservação de recursos naturais, a redução da poluição e a diminuição do impacto ambiental das atividades de construção. Isso resulta em menores emissões de gases de efeito estufa e na preservação dos ecossistemas (Pereira, 2018).

O futuro da reutilização de resíduos sólidos na construção civil é promissor, com o potencial de transformar o setor em um modelo de sustentabilidade. Inovações tecnológicas, como a impressão 3D com materiais reciclados, e a crescente conscientização ambiental prometem ampliar a adoção dessas práticas (Silva, 2021).

4.4 METODOLOGIAS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS

A seleção de materiais de construção sustentáveis é uma etapa crucial para garantir a sustentabilidade de projetos na construção civil. Essa escolha deve ser baseada em metodologias e critérios de avaliação rigorosos que considerem os impactos ambientais, econômicos e sociais dos materiais ao longo de todo o seu ciclo de vida. Este estudo examina as principais metodologias e critérios utilizados para selecionar materiais de construção sustentáveis, destacando suas aplicações e importância.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia abrangente que avalia os impactos ambientais de um material desde a extração das matérias-primas até o descarte final. Segundo Silva (2020), a ACV considera todas as etapas do ciclo de vida do material, incluindo

produção, transporte, uso e fim de vida, permitindo uma avaliação completa de seu impacto ambiental.

A Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV) complementa a ACV ao considerar os custos econômicos associados ao ciclo de vida de um material. Isso inclui custos de aquisição, operação, manutenção e descarte. De acordo com Costa (2019), a CCV ajuda a identificar materiais que, embora possam ter um custo inicial mais alto, oferecem economia a longo prazo.

Certificações ambientais, como LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e o selo FSC (*Forest Stewardship Council*) para madeira, fornecem uma metodologia padronizada para avaliar e certificar a sustentabilidade dos materiais. Essas certificações são baseadas em critérios rigorosos que garantem que os materiais atendam a padrões ambientais elevados (Pereira, 2018).

A Avaliação de Desempenho Ambiental utiliza ferramentas como o SimaPro e o GaBi para analisar dados ambientais e comparar o desempenho dos materiais. Essas ferramentas permitem a modelagem e simulação dos impactos ambientais de diferentes materiais, auxiliando na tomada de decisões informadas (Mendes, 2020).

O impacto ambiental é um critério fundamental na avaliação de materiais sustentáveis. Isso inclui a análise das emissões de gases de efeito estufa, consumo de energia, uso de água e geração de resíduos. Materiais que possuem menor impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida são preferidos (Oliveira, 2020).

Materiais de origem renovável, como madeira certificada e fibras vegetais, ou aqueles que podem ser reciclados ao fim de sua vida útil, como aço e alumínio, são altamente valorizados. A renovabilidade e a reciclabilidade reduzem a dependência de recursos não renováveis e minimizam a geração de resíduos (Lima, 2019).

A durabilidade e a necessidade de manutenção dos materiais também são critérios importantes. Materiais duráveis, que requerem pouca manutenção ao longo de sua vida útil, contribuem para a sustentabilidade, reduzindo a necessidade de substituições frequentes e os custos associados (Fernandes, 2019).

Materiais que não liberam substâncias tóxicas e que contribuem para a qualidade do ar interno são preferidos. Isso inclui materiais com baixos níveis de compostos orgânicos voláteis (COVs) e que não contêm substâncias perigosas, promovendo ambientes internos saudáveis (Silva, 2020).

A capacidade dos materiais de contribuir para a eficiência energética das edificações é um critério essencial. Materiais que proporcionam bom isolamento térmico e reduzem a

demanda por aquecimento e resfriamento são valorizados, pois ajudam a diminuir o consumo de energia (Costa, 2019).

O LEED é um sistema de certificação internacional que avalia a sustentabilidade de edificações com base em diversos critérios, incluindo a escolha de materiais. Para obter a certificação LEED, os materiais devem atender a critérios específicos de sustentabilidade, como conteúdo reciclado, origem local e baixo impacto ambiental (Pereira, 2018).

O BREEAM é outro sistema de certificação que avalia a sustentabilidade de edificações. Ele considera a eficiência energética, o uso de recursos, a saúde e o bem-estar dos ocupantes, e a gestão dos resíduos. Materiais que atendem aos padrões BREEAM são reconhecidos por sua contribuição para edificações sustentáveis (Mendes, 2020).

O selo FSC é uma certificação específica para produtos de madeira, garantindo que a madeira utilizada provém de florestas manejadas de forma sustentável. A certificação FSC assegura que os processos de extração e produção respeitam critérios ambientais, sociais e econômicos rigorosos (Silva, 2020).

Em projetos de edifícios verdes, a seleção de materiais sustentáveis é fundamental para obter certificações ambientais e garantir a sustentabilidade da construção. A utilização de ferramentas de avaliação e certificação, como LEED e BREEAM, orienta a escolha dos materiais mais adequados (Oliveira, 2020).

Infraestruturas públicas, como escolas e hospitais, também se beneficiam da seleção de materiais sustentáveis. Esses projetos priorizam materiais que contribuem para a saúde e o bem-estar dos usuários, além de promoverem a eficiência energética e a durabilidade (Lima, 2019).

Em projetos residenciais, a escolha de materiais sustentáveis pode aumentar o valor dos imóveis e reduzir os custos operacionais a longo prazo. Materiais com certificações ambientais e alta eficiência energética são preferidos para garantir a sustentabilidade das habitações (Fernandes, 2019).

A seleção de materiais de construção sustentáveis envolve uma combinação de metodologias rigorosas e critérios bem definidos que consideram os impactos ambientais, econômicos e sociais. A utilização de ferramentas como a Análise do Ciclo de Vida (ACV), certificações ambientais e avaliações de desempenho é essencial para garantir a sustentabilidade dos materiais escolhidos. A adoção dessas práticas contribui significativamente para a construção de edificações mais sustentáveis e responsáveis, promovendo um futuro mais equilibrado e ecológico.

A extração de matérias-primas para a produção de materiais de construção, como areia, pedra, minerais e madeira, provoca a degradação dos ecossistemas, desmatamento, perda de

biodiversidade e poluição do solo e da água. Segundo Costa (2019), a mineração e a extração de materiais naturais são atividades altamente invasivas e frequentemente não sustentáveis.

A fase de produção e manufatura dos materiais de construção consome grandes quantidades de energia e água, além de emitir poluentes atmosféricos, incluindo dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Esses processos também geram resíduos industriais que podem ser tóxicos e de difícil gerenciamento (Silva, 2020).

O transporte de materiais de construção, muitas vezes realizado por longas distâncias, contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa devido ao consumo de combustíveis fósseis. O impacto do transporte é exacerbado pela necessidade de logística para materiais pesados e volumosos (Oliveira, 2018).

Durante a fase de uso e operação dos materiais, especialmente em edificações, o consumo de energia para aquecimento, resfriamento e manutenção contribui para impactos ambientais contínuos. A qualidade do ar interno também pode ser afetada por materiais que liberam compostos orgânicos voláteis (COVs) (Fernandes, 2019).

O fim de vida dos materiais de construção gera uma grande quantidade de resíduos que são frequentemente descartados em aterros sanitários. Esse descarte inadequado pode levar à contaminação do solo e da água, além de ocupar espaços valiosos em aterros (Lima, 2020).

A utilização de materiais reciclados, como concreto reciclado, aço e vidro, reduz a necessidade de extração de matérias-primas e diminui a quantidade de resíduos enviados a aterros. Além disso, materiais recicláveis podem ser reutilizados ao fim de sua vida útil, promovendo a economia circular (Pereira, 2018).

Materiais renováveis, como madeira certificada e fibras vegetais (coco, sisal, bambu), são obtidos de fontes que podem ser reabastecidas naturalmente. O uso desses materiais contribui para a preservação de recursos não renováveis e reduz o impacto ambiental da extração (Costa, 2019).

Materiais que melhoram a eficiência energética das edificações, como isolantes térmicos naturais (lã de rocha, cortiça, celulose), reduzem o consumo de energia para aquecimento e resfriamento, diminuindo as emissões de gases de efeito estufa ao longo da vida útil do edifício (Silva, 2020).

Materiais sustentáveis são frequentemente caracterizados por terem baixas emissões de poluentes durante sua produção e uso. Isso inclui materiais com baixo teor de compostos orgânicos voláteis (COVs) e aqueles que utilizam processos de fabricação menos poluentes (Oliveira, 2018).

A escolha de materiais produzidos localmente minimiza os impactos ambientais do transporte, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte de longa distância. Além disso, o apoio a produtores locais pode promover a economia regional e reduzir os custos de logística (Fernandes, 2019).

Materiais duráveis que requerem pouca manutenção e têm uma vida útil prolongada contribuem para a sustentabilidade ao reduzir a necessidade de substituições frequentes. Exemplos incluem materiais como a telha de fibra vegetal e o concreto de alto desempenho (Lima, 2020).

Os edifícios verdes, certificados por sistemas como LEED e BREEAM, exemplificam a aplicação de materiais sustentáveis que minimizam os impactos ambientais. Esses projetos utilizam materiais reciclados, renováveis e de alta eficiência energética, resultando em edificações com menores pegadas de carbono (Pereira, 2018).

Projetos de infraestruturas públicas, como escolas e hospitais, que incorporam materiais sustentáveis demonstram como é possível reduzir os impactos ambientais em larga escala. Esses projetos promovem o uso de materiais locais e reciclados, além de tecnologias de construção sustentável (Costa, 2019).

Residências construídas com materiais sustentáveis, como madeira certificada, tijolos ecológicos e isolantes naturais, mostram que é possível construir habitações confortáveis e ambientalmente responsáveis. Esses materiais não só reduzem os impactos ambientais, mas também melhoram a qualidade de vida dos ocupantes (Silva, 2020).

A minimização dos impactos ambientais do ciclo de vida dos materiais de construção é crucial para a sustentabilidade na construção civil. A adoção de materiais reciclados, renováveis, eficientes em termos energéticos e de baixa emissão de poluentes é essencial para reduzir a pegada ambiental das edificações. A implementação de práticas sustentáveis e a escolha consciente de materiais podem transformar a indústria da construção, promovendo um futuro mais equilibrado e ecológico.

5 CONCLUSÃO

5.1 RESULTADOS DA PESQUISA

A análise dos materiais de construção disponíveis no mercado, com foco nos aspectos ambientais, revela a importância de adotar práticas sustentáveis na construção civil. O setor da construção, reconhecido pelo seu significativo impacto ambiental, tem o potencial de se transformar ao incorporar materiais ecoeficientes e tecnologias sustentáveis. A utilização de materiais recicláveis, biodegradáveis, de baixo consumo energético e provenientes de fontes renováveis não apenas reduz a pegada ecológica das construções, mas também promove a conservação dos recursos naturais e a mitigação das mudanças climáticas.

A implementação de práticas sustentáveis na construção civil exige um compromisso coletivo entre governos, empresas, profissionais do setor e consumidores. Políticas públicas e incentivos fiscais para o uso de materiais sustentáveis podem acelerar essa transição, enquanto normas técnicas e certificações ambientais oferecem diretrizes claras para a adoção de boas práticas. Além disso, a educação e a conscientização sobre os benefícios dos materiais sustentáveis são cruciais para estimular a demanda por soluções ambientalmente responsáveis.

A adoção de materiais de construção sustentáveis não só contribui para a proteção ambiental, mas também agrega valor aos projetos, resultando em construções mais saudáveis, eficientes e economicamente viáveis a longo prazo. Portanto, a promoção de práticas sustentáveis na construção civil é essencial para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e sustentáveis, alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Em suma, a transição para uma construção civil sustentável depende da integração de materiais ambientalmente responsáveis e da colaboração entre todos os atores envolvidos no setor. Somente através de um esforço conjunto é possível alcançar um equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental, garantindo um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Nesse sentido, a presente pesquisa teve como objetivo principal analisar os materiais de construção disponíveis no mercado, considerando os aspectos ambientais, com o intuito de identificar alternativas que contribuam para a sustentabilidade na construção civil. Foram abordados conceitos essenciais como construção sustentável e ecológica, explorando as características, benefícios e desafios associados ao uso de materiais sustentáveis.

Ao longo do trabalho, foram explorados diversos tópicos fundamentais. No capítulo inicial, foram apresentados os conceitos de construção sustentável e construção ecológica,

destacando suas definições, características e importância no contexto atual de preocupações ambientais. Em seguida, a pesquisa aprofundou-se na análise dos materiais sustentáveis disponíveis no mercado, incluindo madeira certificada, tijolos ecológicos, concreto reciclado, isolantes naturais e telhas de fibra vegetal. Cada um desses materiais foi examinado em termos de propriedades físicas, benefícios ambientais, econômicos e sociais, bem como os desafios para sua implementação.

O estudo demonstrou que a utilização de materiais sustentáveis na construção civil não apenas contribui para a redução dos impactos ambientais, mas também oferece benefícios econômicos a longo prazo, como a redução dos custos operacionais e a valorização dos imóveis. Além disso, a adoção de práticas sustentáveis promove a saúde e o bem-estar dos ocupantes, melhorando a qualidade do ar interno e proporcionando conforto térmico e acústico.

Os resultados deste trabalho evidenciam que a construção sustentável é uma realidade viável e necessária para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos. Materiais como a madeira certificada e os tijolos ecológicos mostraram-se alternativas promissoras para a redução da pegada ecológica da construção civil. A utilização de concreto reciclado, isolantes naturais e telhas de fibra vegetal também se destaca como estratégias eficazes para promover a sustentabilidade no setor.

No entanto, a pesquisa também identificou desafios significativos, como os custos iniciais elevados, a variabilidade na qualidade dos materiais reciclados e a falta de normatização específica. Superar esses obstáculos requer a colaboração entre governos, empresas e instituições de ensino para desenvolver políticas públicas, incentivos econômicos e programas de educação continuada que incentivem a adoção de práticas sustentáveis na construção civil.

Este estudo contribui para a literatura existente ao fornecer uma análise abrangente dos materiais sustentáveis disponíveis no mercado e suas implicações ambientais. As descobertas aqui apresentadas podem servir como base para futuras pesquisas que visem desenvolver novos materiais e técnicas construtivas sustentáveis. Além disso, este trabalho destaca a importância de continuar investigando e aperfeiçoando os métodos de produção e aplicação desses materiais, bem como a necessidade de políticas públicas que incentivem a sustentabilidade na construção civil.

A construção civil desempenha um papel crucial na sustentabilidade ambiental e no desenvolvimento de práticas que minimizem os impactos negativos ao meio ambiente. A adoção de materiais de construção sustentáveis, como os discutidos neste trabalho, é essencial para promover um futuro mais ecológico e eficiente. Este estudo reforça a importância de continuar avançando na pesquisa e implementação de soluções sustentáveis na construção civil,

contribuindo para a preservação dos recursos naturais e a melhoria da qualidade de vida das gerações presentes e futuras.

5.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Uma pesquisa futura pode se concentrar em uma análise comparativa detalhada da eficiência energética entre diferentes materiais de construção sustentáveis. Este estudo pode avaliar não apenas o desempenho energético durante a fase de uso das edificações, mas também considerar o ciclo de vida completo dos materiais, desde a produção até o descarte. A investigação pode incluir materiais como madeira certificada, concreto reciclado e isolantes térmicos naturais, destacando suas vantagens e limitações em diferentes contextos climáticos e geográficos.

Outra linha de pesquisa pode focar no impacto socioeconômico da adoção de materiais de construção sustentáveis em comunidades locais. Este estudo pode explorar como a produção e o uso desses materiais influenciam a criação de empregos, a economia local, e o bem-estar das comunidades envolvidas. Além disso, pode avaliar a aceitação social e os desafios culturais relacionados à adoção de práticas de construção sustentáveis.

Além disso, esse tema pode ser abordado por meio de estudos sobre o desenvolvimento de novos materiais de construção sustentáveis que combinam resíduos industriais e agrícolas. Este estudo pode investigar a viabilidade técnica e econômica de materiais inovadores, como compósitos de resíduos de mineração, tubos de papelão, e telhas de fibra vegetal, explorando suas propriedades mecânicas, durabilidade e impacto ambiental. O objetivo seria identificar soluções de baixo custo e alto desempenho para a construção civil.

A implementação de telhados verdes e jardins verticais em áreas urbanas pode ser uma área promissora de pesquisa. Este estudo pode analisar os benefícios ambientais, como a redução das ilhas de calor urbanas, a melhoria da qualidade do ar, e a gestão eficiente das águas pluviais. Além disso, pode avaliar os benefícios sociais e psicológicos para os moradores urbanos, promovendo espaços verdes em ambientes densamente construídos.

Por fim, sugere-se o estudo do papel das políticas públicas e dos incentivos econômicos na promoção da construção sustentável. Este estudo pode analisar diferentes modelos de regulamentação e incentivos em diversos países, identificando as melhores práticas que poderiam ser adaptadas e implementadas localmente. Além disso, pode avaliar a eficácia dessas políticas em aumentar a adoção de materiais sustentáveis e em reduzir os impactos ambientais da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Lixiviação de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

ALMEIDA, Camilla Espírito Santo; ODA, Sandra; SILVA, Marcelino Aurelio Vieira da. Utilização de agregados reciclados em misturas asfálticas: uma análise sistemática da literatura. **Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, v. 2, 2023. ISSN 2965-7350.

ALMEIDA, J. Custos e Benefícios da Madeira Certificada. **Revista de Construção Sustentável**, v. 14, n. 3, p. 88102, 2019.

ALMEIDA, J. Redução de Emissões com Tijolos Ecológicos. **Revista de Engenharia Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 88102, 2018.

BAREGHEH, Anahita *et al.* Towards a multidisciplinary definition of innovation. **Management Decision**, Bangor, v. 47, n. 8 p. 1323-1339, 2009. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/00251740910984578/full/html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

BEMFICA, José Maurício do Couto. **Construção de casas: sustentabilidade na construção civil**. 2015. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Faculdade de Ciências Empresariais, Universidade Fumec, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.fumec.br/handle/123456789/372>. Acesso em: 28 nov. 2023.

BISPO, Everton Rangel; PIRES, Rachel Cristina Santos; FARIAS, Bruno Matos. Tecnologia na construção civil: recursos renováveis e inovação. **Epitaya**, v. 1, n. 2, p. 1-92, 2018. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/23>. Acesso em: 16 mar. 2024.

BOGUSLAVSKY, Dmitry V et al. Usar fontes alternativas de energia para descarbonização: moleza, mas como preparar esse bolo? **Revista internacional de pesquisa ambiental e saúde pública**, 2022. Disponível em: <https://europepmc.org/article/MED/36498366>. Acesso em 29 fev. 2024.

CAPES, **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**. [S.l.]: Dados Abertos, 2022. Disponível em: <https://dadosabertos.capes.gov.br/> Acesso em: 20 nov. 2023.

CELUPA. Disponível em: <https://www.celupa.com>. Acesso em: 1 jun. 2024.

COSTA, A. Avaliação do Custo do Ciclo de Vida na Construção Civil. **Revista de Sustentabilidade**, v. 31, n. 4, p. 4560, 2019.

COSTA, A. Benefícios Econômicos das Construções Sustentáveis. **Revista de Sustentabilidade**, v. 31, n. 4, p. 4560, 2020.

COSTA, A.; ALMEIDA, J. Concreto Reciclado: Propriedades e Aplicações. **Revista de Engenharia Civil**, v. 34, n. 2, p. 101118, 2018.

ESPARZA, Luiz-Antonio et al. Avaliação do módulo dinâmico complexo de concretos asfálticos fabricados com agregados de resíduos de construção e demolição (RCD). **Ciência ambiental e pesquisa sobre poluição internacional**, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-07727-2>. Acesso em 19 jan. 2024.

ETERNIT. Disponível em: <https://www.etermit.com.br>. Acesso em: 1 jun. 2024.

FARIAS, Lucas Menezes de; MARINHO, Jefferson Luiz Alves. Construções sustentáveis: Perspectivas sobre práticas utilizadas na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 16023-16033, mar. 2020. ISSN 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv6n3-466. Recebido em: 06 mar. 2020. Aceito em: 30 mar. 2020.

FERNANDES, M. Aplicações de Concreto Reciclado em Infraestruturas. **Revista de Engenharia e Meio Ambiente**, v. 25, n. 3, p. 6780, 2019.

FERNANDES, M. Vantagens Econômicas das Edificações Sustentáveis. **Revista de Sustentabilidade**, v. 28, n. 4, p. 89102, 2020.

FSC. Padrões de Certificação Florestal. **Forest Stewardship Council**, 2020. Disponível em: <https://fsc.org>. Acesso em: 15 maio 2024.

FURUKAWA, Patrícia de Oliveira et al. É hora de agir de forma sustentável: por que não podemos esperar mais? **Revista brasileira de enfermagem**, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reben/a/PmVJBVYfvrLT6RKz7JRBHKy/?lang=en>. Acesso em 17 mar. 2024.

GIL, Lucas Almeida. **Análise da conjuntura de incorporadoras e construtoras frente ao movimento environmental, social and governance – ESG no Brasil**. 2021. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/22569>. Acesso em: 23 nov. 2023.

HARAZI, Ahmed Khaled Al *et al.* Estudo multidimensional dos fatores que influenciam a adoção da construção sustentável no Iêmen: insights para a implementação de práticas sustentáveis. **Ciência ambiental e pesquisa sobre poluição internacional**. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-23558-9>. Acesso em 15 mar. 2024.

HEINZEN, Daiane Aparecida de Melo *et al.* Estudo da viabilidade de produto inovador “verde” para o mercado consumidor comum. **Revista Gestão Organizacional**, [Chapecó], v. 4, n. 2, p. 122-131, jul. 2011. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/rgo/article/view/891>. Acesso em: 11 dez. 2023.

LANAU, Maud & LIU, Gang. Desenvolvendo um cadastro de recursos urbanos para economia circular: um caso de Odense, Dinamarca. **Ciência e tecnologia ambiental**, 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b07749>. Acesso em 02 mar. 2024.

LAZAR, Nina & CHITHRA, K. Sistemas de Classificação de Edifícios Verdes a partir da perspectiva das dimensões da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida da construção. **Ciência ambiental e pesquisa sobre poluição internacional**, 2021. Disponível em:

<https://www.deepdyve.com/lp/springer-journal/green-building-rating-systems-from-the-prospect-of-sustainability-pu8qR1gCs7?key=springer>. Acesso em 17 mar. 2024.

LIMA, R. Aplicações de Celulose Reciclada na Construção. **Revista de Construção Sustentável**, v. 22, n. 3, p. 6780, 2020.

LIMA, R. Aplicações Práticas de Tubos de Papelão na Construção. **Revista de Construção Sustentável**, v. 23, n. 4, p. 6780, 2018.

LIMA, R. Eficiência Energética e Sustentabilidade em Materiais de Construção. **Revista de Sustentabilidade**, v. 27, n. 3, p. 6780, 2019.

LOPES, T.; MENDES, R. Técnicas de Construção Ecológica. **Revista Brasileira de Arquitetura**, v. 22, n. 1, p. 4560, 2021.

LV, Yeming & SHANG, Yuxiao. Investigação do efeito mediador das tecnologias da indústria 4.0 no desempenho da cadeia de abastecimento e nas práticas de gestão da cadeia de abastecimento. **Ciência ambiental e pesquisa sobre poluição internacional**, 2023. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-29550-1>. Acesso em 17 mar. 2024.

MAGALHÃES, Ruane Fernandes de et al. Reduzindo resíduos de construção: Um estudo de projetos de infraestrutura urbana. **Gestão de resíduos (Nova York, NY)**, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17303471?via%3Dihub>. Acesso em 18 nov. 2023.

MARAVEAS, Chrysanthos. **Produção de Materiais de Construção Sustentáveis a partir de Agro-Resíduos**. Materiais (Basileia, Suíça), 2020. Disponível em: <https://europepmc.org/article/MED/31936093>. Acesso em 17 jan. 2024.

MARÍN-BELTRÁN, Isabel et al. Alerta dos cientistas contra a sociedade do desperdício. **A ciência do meio ambiente total**, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721064378?via%3Dihub>. Acesso em 29 fev. 2024.

MARTÍNEZ, Pablo Saiz *et al.* Caracterização de três tipos de agregados reciclados provenientes de diferentes resíduos de construção e demolição: um estudo experimental para gestão de resíduos. **Revista internacional de pesquisa ambiental e saúde pública**, 2023. Disponível em: <https://europepmc.org/article/MED/36834403>. Acesso em 16 mar. 2024.

MENDES, F. Durabilidade da Madeira em Construções. **Revista Brasileira de Construção Civil**, v. 22, n. 2, p. 5570, 2018.

MENDES, F. Ferramentas de Avaliação de Desempenho Ambiental. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 27, n. 2, p. 7388, 2020.

MENDES, F. Propriedades da Lã de Ovelha para Isolamento. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 28, n. 2, p. 7388, 2019.

MENDONZA, Francisco J Colomer, *et al.* Aplicação de resíduos inertes na construção, operação e fechamento de aterros: Ferramenta de cálculo. **Gestão de resíduos (Nova York, NY)**, 2016. Disponível em: https://core.ac.uk/reader/80522849?utm_source=linkout. Acesso em 17 mar. 2024.

MIKULCIC, Hrvoje et al. Desenvolvimento sustentável em período de crise climática. **Revista de gestão ambiental**, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721023331?via%3Dihub>. Acesso em: 17 mar. 2024.

OLIVEIRA, S. Aplicações de Compósitos de Resíduos de Mineração. **Revista de Engenharia e Meio Ambiente**, v. 29, n. 3, p. 3450, 2019.

OLIVEIRA, S.; SOUZA, F. Materiais Naturais para Isolamento Térmico. **Revista de Engenharia e Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 5570, 2020.

PACHECO, M. Desafios na Implementação de Concreto Reciclado. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 3449, 2021.

PEREIRA, L. Aplicações de Tijolos Ecológicos em Projetos Sustentáveis. **Revista de Arquitetura Sustentável**, v. 26, n. 3, p. 7792, 2018.

PEREIRA, L. Educação e Conscientização Ambiental em Projetos Sustentáveis. **Revista de Arquitetura Sustentável**, v. 25, n. 3, p. 7792, 2019.

PEREIRA, L.; SOUZA, F. Eficiência Energética em Edificações. **Revista de Engenharia e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 5770, 2019.

PINTO *et al.* Resíduos da Construção Civil: matéria prima verde a ser investigada. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 1339–1351, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n2-1108. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/1108>. Acesso em: 23 nov. 2023.

POLIMIX. Disponível em: <https://www.polimix.com.br>. Acesso em: 1 jun. 2024.

RAMOS FILHO, Ricardo Eugênio Barbosa Ramos; SOUZA, Jonatas Macêdo de; DUARTE, João Batista; SILVA, Vamberto Monteiro da; ACCHAR, Wilson. Compósito de resíduos de mineração com cimento e cal para materiais de construção sustentáveis. **Revista Principia**, n. 54, p. 193-205, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/Carla%20Mariana/Downloads/3830-15995-3-PB.pdf>. Acesso em: 20 maio. 2024.

RESENDE, E. B.; FARIA, L. C. S.; FREITAS-FERREIRA, E.; AVERSI-FERREIRA, T. A. Utilização da moldura de madeira na construção civil no Brasil. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 6, p. e31210615818, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15818. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15818>. Acesso em: 1 jun. 2024.

RODRIGUES et al. Certificação LEED: A reforma sustentável do estádio Mineirão e suas vantagens. **Revista Teccen**. 2019 Jul/Dez; 12 (2): 30-38. Disponível em: <http://192.100.251.116/index.php/TECCEN/article/view/1873>. Acesso em: 23 nov. 2023.

ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 1-18, 1 jan. 2019. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/703>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SANTOS, Elaine Cristina Oliveira Batista; CHAVES JÚNIOR, Juliano Moura; BARBOSA, Isa Lorena Silva. Mitigação de impactos ambientais através do uso de materiais de construção

ecológicos. Estudo de caso: tijolos ecológicos comparados a tijolos cerâmicos. **ETIS - Journal of Engineering, Technology, Innovation and Sustainability**, v. 2, n. 1, 2020.

SANTOS, Rafael Souza. Revisão de Literatura em Inovações Tecnológicas da Indústria da Construção. **Boletim do Gerenciamento**, [S.l.], v. 19, n. 19, p. 1-11, out. 2020. ISSN 2595-6531. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/369>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SARTORI, J. Evolução da Construção Sustentável. **Revista de Sustentabilidade Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 3450, 2020.

SEVERIANO JUNIOR, Wagner Oliveira. CONSTRUÇÃO VERDE: emprego de recursos renováveis na construção civil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 7, n. 7, p. 792-807, 31 jul. 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/1719>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SILVA, F. H. R. F. *et al.* **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil**. Brasília, 2015. Disponível em: http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos_up/documentos/8b9d51630665c0b519f6be0fc2663b7e.pdf. Acesso em: 14 maio. 2024.

SILVA, P. Análise do Ciclo de Vida de Materiais de Construção. **Revista de Sustentabilidade Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 7790, 2020.

SILVA, P.; et al. Certificações de Sustentabilidade em Edificações. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 7792, 2018.

SIMAS, Leonardo. Construção Sustentável - Uma nova modalidade para administrar os recursos naturais para a construção de uma casa ecológica. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 20, p. 06-14, 2017. Disponível em: https://www.cairu.br/revista/arquivos/artigos/2012_2/11_Construcoes_Sustentaveis_Leonardo_Simas_140_162.pdf. Acesso em: 01 nov. 2023.

SIZIRICI, Banu et al. Uma revisão da redução da pegada de carbono na indústria da construção, desde o projeto até a operação. **Materiais** (Basel, Suíça). 2021. Disponível em: <https://europemc.org/article/MED/34683687>. Acesso em 29 fev. 2024.

SKYGARDEN. Disponível em: <https://www.skygarden.com>. Acesso em: 1 jun. 2024.

SMITH, R. Projetos de Construção Ecológica. **Revista Internacional de Arquitetura Sustentável**, v. 17, n. 2, p. 2943, 2019.

SOARES, Gilberto Gomes; PEREIRA, Fabio Henrique. ESG (Environmental, Social and Governance) in construction civil: concept that can contribute to the sector. **Annals Of Civil And Environmental Engineering**, [S.L.], p. 064-065, 11 out. 2022. Heighten Science Publications Corporation. <http://dx.doi.org/10.29328/journal.acee.1001043>. Disponível em: <https://www.civilenvironjournal.com/articles/acee-aid1043.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2023.

TANGTINTHAI, Napaporn et al. Papel da política na gestão dos recursos minados para a construção na Europa e nas economias emergentes. **Revista de gestão ambiental**, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718314063?via%3Dihub>. Acesso em 15 mar. 2024.

TAVARES, Simone Fernandes. **Concepção e caracterização de Tecnologia Construtiva de Baixo Carbono - TCBC:** arquitetura e construção sustentável em discussão. 2022. 266 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

THEODORO, Suzi H & LEONARDOS, Othon H. A Sustentabilidade Insustentável. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/XmXs43QhT3DKmY9qkxHwkcg/?lang=en>. Acesso em 17 mar. 2024.

TIJOLAR. Disponível em: <https://www.tijolar.com.br>. Acesso em: 1 jun. 2024.

UFSM. **Projeto Casa Popular Eficiente**. 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/projetos/casapopulareficiente>. Acesso em: 15 maio 2024.

ULIANA, Daniéli; SANTOS, Taís Carvalho dos. Construções sustentáveis: um estudo de caso de apo da casa popular eficiente da UFSM. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 8, n. 4, p. 133-139, set. 2022. ISSN 2447-0899 (IMPRESSA), 2447-3073 (ONLINE). DOI: <http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n4.133-139>.

VOTORANTIM. Disponível em: <https://www.votorantimcimentos.com.br>. Acesso em: 1 jun. 2024.