

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS - *CAMPUS* AVANÇADO PIUMHI  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Kennedy Junior Resende Teodoro

**ANÁLISE DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA**

Piumhi - MG

2024

Kennedy Junior Resende Teodoro

**ANÁLISE DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Professora Esp. Jéssica Marcelle Corradi Diniz Gonçalves Martins

Piumhi – MG

2024

---

T314a Teodoro, Kennedy Junior Resende.

Análise de materiais sustentáveis na construção civil: uma avaliação de desempenho e viabilidade econômica [manuscrito] / Kennedy Junior Resende Teodoro. – 2024. 99 f. : il. color.

Orientadora: Jéssica Marcelle Corradi Diniz Gonçalves Martins.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi, 2024.

1. Impacto ambiental. 2. Materiais de construção – registros de desempenho. 3. Sustentabilidade – construção civil. 4. Viabilidade econômica. I. Martins, Jéssica Marcelle Corradi Diniz. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi. III. Título.

CDD 690

---

Catálogo: Andreia Cristina Damasceno - CRB-6/1974



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Avançado Piumhi**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Campus Avançado Piumhi**  
Rua Severo Veloso 1880 - Bairro Bela Vista - CEP 37925-000 - Piumhi - MG  
(37)3371-3353 - www.ifmg.edu.br

Kennedy Junior Resende

Teodoro

**ANÁLISE DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 12 de setembro de 2024 pela banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Jéssica Marcelle Corradi Diniz Gonçalves Martins**, **Professor(a) Substituto(a)**, em 12/09/2024, às 15:28, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Vieira Medeiros**, **Professor(a) Substituto(a)**, em 12/09/2024, às 16:45, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes**, **Professora**, em 12/09/2024, às 18:55, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2037719** e o código CRC **85EC961C**.

23715.000585/2024-92

2013897v1

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado condições de conseguir finalizar cada etapa de estudos, me dar saúde e capacidade para enfrentar cada desafio e dificuldade nesses anos que se passaram.

A meu pai e minha mãe, que me sustentaram em meu tempo de formação e me deram todo apoio para que eu conseguisse finalizar o curso.

A minha noiva, Karoline Hermógenes, que foi fiel em todo tempo, suportou o peso de estar distante, teve bastante paciência e me ajudou em minhas dificuldades.

A todos meus amigos de curso e aos que fiz durante a formação, dando destaque ao Rafael Sousa, que foi meu companheiro de casa e da vida, além disso esteve comigo em todos semestres. Ao Breno Silva, que foi muito disposto e prestativo, um mestre e amigo. Ao Eduardo Toledo, que foi um grande aliado e colaborador para minha formação.

A minha professora orientadora Jéssica M. Corradi Diniz Gonçalves Martins, que teve paciência, dedicação e comprometimento, assim sendo fundamental para que esse trabalho fosse concluído.

Aos demais professores do IFMG – Campus Avançado Piumhi por todo o conhecimento compartilhado durante as aulas.

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente de forma positiva ao longo da minha vida acadêmica.

## RESUMO

Este trabalho aborda a análise de materiais sustentáveis na construção civil, avaliando seu desempenho e viabilidade econômica. A crescente conscientização sobre a necessidade de práticas ambientalmente responsáveis tem impulsionado a busca por alternativas aos materiais convencionais, que muitas vezes causam significativos impactos ambientais negativos. O estudo se concentra em materiais reciclados, como concreto e aço reciclado; materiais naturais, como bambu e madeira de reflorestamento; e materiais de baixa emissão de CO<sub>2</sub>, como cimento sustentável e tijolos ecológicos. São investigados os critérios de durabilidade, resistência mecânica, isolamento térmico e acústico, manutenção e ciclo de vida, além de suas vantagens e desvantagens comparativas. A pesquisa também revisa normas e certificações relevantes, como LEED e Selo Verde, e avalia a viabilidade econômica desses materiais em comparação com os convencionais. Estudos de caso de projetos que adotaram materiais sustentáveis são apresentados para ilustrar os benefícios e desafios dessa abordagem. Este estudo contribui para a compreensão dos impactos ambientais, sociais e econômicos do uso de materiais sustentáveis na construção civil.

**Palavras-chave:** impacto ambiental; materiais de construção - registros de desempenho; sustentabilidade - construção civil; viabilidade econômica.

## ABSTRACT

This work addresses the analysis of sustainable materials in civil construction, evaluating their performance and economic viability. The growing awareness of the need for environmentally responsible practices has driven the search for alternatives to conventional materials, which often cause significant negative environmental impacts. The study focuses on recycled materials such as recycled concrete and steel; natural materials like bamboo and reforested wood; and low CO<sub>2</sub> emission materials such as sustainable cement and ecological bricks. Criteria such as durability, mechanical resistance, thermal and acoustic insulation, maintenance, and lifecycle are investigated, along with their comparative advantages and disadvantages. The research also reviews relevant standards and certifications, such as LEED and Green Seal, and assesses the economic viability of these materials compared to conventional ones. Case studies of projects that have adopted sustainable materials are presented to illustrate the benefits and challenges of this approach. This study contributes to the understanding of the environmental, social, and economic impacts of using sustainable materials in civil construction.

**Keywords:** construction materials - performance records; economic feasibility; environmental impact; sustainability - civil construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os Três Pilares da sustentabilidade Empresarial .....	19
Figura 2 – Gastos representativos da Construção Civil na Esfera Mundial .....	21
Figura 3 – Impactos da Construção Civil no Meio Ambiente .....	21
Figura 4 – Resíduos gerados na Construção Civil.....	22
Figura 5 – Resíduos gerados na Construção Civil.....	22
Figura 6 – Agregados Recicláveis .....	24
Figura 7 – Produção do Concreto Convencional.....	24
Figura 8 – Esquema da Reciclagem .....	25
Figura 9 – Esquema de Reciclagem do Aço.....	26
Figura 10 – Sede da <i>World Steel Association</i> , Bruxelas, Bélgica .....	28
Figura 11 – Tijolos de plástico reciclado .....	29
Figura 12 – Tijolos de plástico reciclado .....	29
Figura 13 – Areia e flocos de PET .....	30
Figura 14 – Concreto reforçado com fibras plásticas .....	30
Figura 15 – Concreto reforçado com fibras plásticas .....	30
Figura 16 – Tábuas para deck feitas em plástico reciclável .....	31
Figura 17 – Processo de reciclagem do plástico.....	32
Figura 18 – Uso do bambu como andaime de assistência para construção .....	33
Figura 19 – <i>Green School</i> em Bali, toda feita de Bambu .....	34
Figura 20 – <i>Green School</i> em Bali, toda feita de Bambu .....	34
Figura 21 – Floresta para extração controlada de madeira de reflorestamento .....	35
Figura 22 – Representação da madeira laminada colada.....	36
Figura 23 – Confecção dos tijolos de Adobe e resultado final aplicado em paredes .....	37
Figura 24 – Confecção dos tijolos de Adobe e resultado final aplicado em paredes .....	37
Figura 25 – Confecção de taipas de pilão e resultado final em uma residência .....	38
Figura 26 – Confecção de taipas de pilão e resultado final em uma residência .....	38
Figura 27 – Confecção da técnica COB e resultado final em uma residência.....	38
Figura 28 – Confecção da técnica COB e resultado final em uma residência.....	38
Figura 29 – Autoconstrução por meio da capacitação comunitária com terra crua .....	40
Figura 30 – Autoconstrução por meio da capacitação comunitária com terra crua .....	40
Figura 31 – Representação de como o cimento comum é feito.....	41
Figura 32 – Tipos de tijolos ecológicos.....	42
Figura 33 – Tipos de tijolos ecológicos.....	42

Figura 34 – Vidro triturado para sua reciclagem.....	44
Figura 35 – Categorias de Avaliação do LEED .....	47
Figura 36 – Edifício <i>Salesforce</i> .....	53
Figura 37 – Edifício <i>Elbphilharmonie</i> .....	55
Figura 38 – Centro <i>Xewa Sowé</i> .....	57
Figura 39 – Trabalho manual.....	58
Figura 40 – Trabalho manual.....	58
Figura 41 – Residência e Ateliê para Artesãos de <i>Piyandeling</i> .....	59
Figura 42 – Uso de bambu e plástico reciclado.....	60
Figura 43 – Museu do Amanhã .....	61
Figura 44 – Fábrica <i>Biotrends</i> .....	63
Figura 45 – Uso de tijolos ecológicos .....	64
Figura 46 – Casa Proa.....	65
Figura 47 – Casa na Mata.....	66
Figura 48 – Construção de casa sustentável .....	85
Figura 49 – Orfanato autossustentável criado na Tanzânia.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens dos Materiais Reciclados .....	45
Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens dos Materiais Naturais .....	45
Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens dos Materiais com Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	46
Tabela 4 - Projetos Internacionais a serem analisados no Estudo de Caso .....	52
Tabela 5 - Projetos Nacionais a serem analisados no Estudo de Caso .....	61
Tabela 6 - Avaliação de Durabilidade e Resistência Mecânica dos Materiais Reciclados .....	69
Tabela 7 - Avaliação de Durabilidade e Resistência Mecânica dos Materiais Naturais .....	69
Tabela 8 - Avaliação de Durabilidade e Resistência Mecânica dos Materiais com Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	70
Tabela 9 - Avaliação de Isolamento Térmico e Acústico dos Materiais Reciclados .....	70
Tabela 10 - Avaliação de Isolamento Térmico e Acústico dos Materiais Naturais .....	71
Tabela 11 - Avaliação de Isolamento Térmico e Acústico dos Materiais de Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	71
Tabela 12 - Avaliação de Manutenção e Ciclo de Vida dos Materiais Reciclados .....	72
Tabela 13 - Avaliação de Manutenção e Ciclo de Vida dos Materiais Naturais .....	72
Tabela 14 - Avaliação de Manutenção e Ciclo de Vida dos Materiais de Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	73
Tabela 15 - Avaliação do Impacto Social e Inovação dos Materiais Reciclados .....	73
Tabela 16 - Avaliação do Impacto Social e Inovação dos Materiais Naturais .....	74
Tabela 17- Avaliação do Impacto Social e Inovação dos Materiais de Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	75
Tabela 18 - Avaliação da Disponibilidade e Acessibilidade dos Materiais Reciclados no Brasil.....	76
Tabela 19 - Avaliação da Disponibilidade e Acessibilidade dos Materiais Naturais no Brasil.....	76
Tabela 20 - Avaliação da Disponibilidade e Acessibilidade dos Materiais de Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> no Brasil.....	77
Tabela 21 - Avaliação da Eficiência Energética dos Materiais Reciclados .....	77
Tabela 22 - Avaliação da Eficiência Energética dos Materiais Naturais .....	78
Tabela 23 - Avaliação da Eficiência Energética dos Materiais de Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	78
Tabela 24 - Avaliação do Impacto Ambiental dos Materiais Reciclados.....	79
Tabela 25 - Avaliação do Impacto Ambiental dos Materiais Naturais.....	79
Tabela 26 - Avaliação do Impacto Ambiental dos Materiais de Baixa Emissão de CO <sub>2</sub> .....	80

Tabela 27 - Análise de Custo-Benefício dos Materiais Sustentáveis vs. Materiais Convencionais no Brasil.....	82
--	----

## LISTA DE SIGLAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CEB	<i>Compressed Earth Blocks</i>
CLT	<i>Cross-Laminated Timber</i>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
GBCI	<i>Green Building Certification Institute</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MLC	Madeira Laminada Colada
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	16
<b>2.1</b>	Geral	16
<b>2.2</b>	Específicos	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	17
3.1	Sustentabilidade na Construção Civil	17
3.1.1	Conceitos e Definições	18
3.1.2	Importância da Sustentabilidade na Construção Civil	19
3.1.3	Impactos Ambientais da Construção Civil	20
3.2	Materiais Sustentáveis na Construção	22
3.2.1	Tipos de Materiais Sustentáveis	23
3.2.1.1	Materiais Recicladados	23
3.2.1.1.1	Concreto reciclado	23
3.2.1.1.2	Aço reciclado	26
3.2.1.1.3	Plástico reciclado	28
3.2.1.2	Materiais Naturais	33
3.2.1.2.1	Bambu	33
3.2.1.2.2	Madeira de Reflorestamento	35
3.2.1.2.3	Terra Crua	37
3.2.1.3	Materiais com Baixa Emissão de CO <sub>2</sub>	40
3.2.1.3.1	Cimento Sustentável	40
3.2.1.3.2	Tijolos Ecológicos	42
3.2.1.3.3	Vidro Sustentável	43
3.2.2	Vantagens e Desvantagens dos Materiais Sustentáveis	45
3.3	Normas e Certificações	46
3.3.1	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	46
3.3.2	Selo Verde	48
3.3.3	Normas ABNT Relacionadas	49
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	51
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	52
5.1	Projetos Internacionais	52
5.1.1	Edifício Salesforce Tower, Estados Unidos	53
5.1.2	Edifício Elbphilharmonie, Alemanha	54

5.1.3	Centro Xena Sowé para Órfãos, África .....	56
5.1.4	Residência e Ateliê para Artesãos de Piyandeling, Indonésia.....	58
5.2	Projetos Nacionais .....	61
5.2.1	Museu do Amanhã, Rio de Janeiro.....	61
5.2.2	Fábrica Biotrends, Eusébio.....	62
5.2.3	Casa Proa, Paraty .....	64
5.2.4	Casa na Mata, São Paulo .....	66
5.3	Resultados e Discussão.....	67
5.3.1	Comparação com Materiais Tradicionais .....	67
5.3.2	Desempenho Técnico .....	68
5.3.2.1	Durabilidade e Resistência Mecânica.....	69
5.3.2.2	Isolamento Térmico e Acústico .....	70
5.3.2.3	Manutenção e Ciclo de Vida .....	71
5.3.2.4	Impacto Social e Inovação.....	73
5.3.2.5	Disponibilidade e Acessibilidade .....	75
5.3.2.6	Eficiência Energética.....	77
5.3.2.7	Impacto Ambiental .....	79
5.3.3	Análise de Viabilidade Econômica dos Materiais Sustentáveis.....	80
5.3.3.1	Custos Iniciais vs. Custos de Ciclo de Vida .....	80
5.4	Discussão dos Resultados Econômicos .....	83
5.5	Iniciativas de Sustentabilidade .....	84
5.5.1	Habitat for Humanity's Global Village, Quênia .....	84
5.5.2	Projeto de Construção Sustentável da ONG Orkidstudio, Tanzânia.....	86
5.6	Incentivos e Políticas Governamentais.....	87
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>90</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, desempenhando um papel crucial na infraestrutura de países em todo o mundo. No entanto, este setor também é um dos maiores responsáveis por impactos ambientais negativos, incluindo a alta emissão de gases de efeito estufa, o consumo intensivo de recursos naturais e a geração significativa de resíduos. Este paradoxo entre desenvolvimento e degradação ambiental destaca a necessidade urgente de uma abordagem mais sustentável na construção civil.

Nos últimos anos, a busca por práticas e materiais sustentáveis na construção tem se intensificado. A utilização de materiais sustentáveis, oferece uma alternativa viável aos materiais convencionais. Esses materiais sustentáveis não só reduzem os gases de efeito estufa das construções, mas também promovem a eficiência energética e a conservação de recursos naturais. A transição para materiais sustentáveis é fundamental para mitigar os impactos ambientais adversos causados pela construção civil, além de contribuir para a criação de comunidades mais resilientes e ecologicamente corretas.

Além do impacto ambiental, a eficiência energética dos materiais sustentáveis é uma característica de destaque. Materiais como o bambu e a madeira de reflorestamento requerem menos energia para serem processados em comparação com aço e concreto convencionais. Estudos demonstram que o bambu possui uma resistência à tração superior à do aço, enquanto a madeira de reflorestamento pode ser cultivada de maneira a não degradar os solos e os recursos hídricos (MOTTA, 2009). O uso de materiais naturais e reciclados contribui para a conservação de recursos, promovendo a economia circular e reduzindo a quantidade de resíduos enviados a aterros.

O desempenho técnico dos materiais sustentáveis também merece destaque. O bambu, por exemplo, possui propriedades mecânicas que o tornam um material excelente para a construção de estruturas resistentes e duráveis (CARDOSO, 2000). A terra crua oferece excelentes propriedades térmicas e acústicas, melhorando o conforto dos edifícios sem a necessidade de sistemas adicionais de aquecimento ou isolamento. Estes materiais não só atendem aos requisitos de durabilidade e resistência mecânica, mas também melhoram o conforto térmico e acústico dos edifícios.

Do ponto de vista social, o uso de materiais sustentáveis pode gerar benefícios significativos, como a criação de empregos locais e o desenvolvimento de comunidades através da construção de habitações acessíveis e ecologicamente corretas. A madeira de reflorestamento

e o bambu, por exemplo, promovem a economia local e incentivam práticas agrícolas sustentáveis.

Embora possam existir desafios, como custos iniciais mais elevados ou menor disponibilidade, os benefícios a longo prazo dos materiais sustentáveis, incluindo a redução dos impactos ambientais, a melhoria da eficiência energética e os ganhos sociais e econômicos, fazem deles uma escolha superior em comparação com os materiais convencionais. A adoção crescente de materiais sustentáveis está transformando a construção civil, apontando para um futuro mais verde e sustentável. Pesquisas demonstram que, apesar dos custos iniciais, a eficiência ao longo do ciclo de vida dos materiais sustentáveis resulta em economia significativa e menor impacto ambiental (CORREA, 2009).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise comparativa entre materiais sustentáveis e convencionais utilizados na construção civil, enfatizando a importância da sustentabilidade para a redução dos impactos ambientais, melhoria da eficiência energética, e promoção de benefícios sociais e econômicos. A pesquisa buscará fornecer uma visão abrangente e detalhada das vantagens e desvantagens de cada tipo de material, contribuindo para a compreensão e adoção de práticas construtivas mais sustentáveis.

### **2.2 Específicos**

- Analisar os impactos ambientais dos materiais convencionais na construção civil;
- Investigar as características e benefícios dos materiais sustentáveis;
- Revisar as normativas e certificações que regulamentam os materiais sustentáveis;
- Avaliar a viabilidade econômica dos materiais sustentáveis na construção civil;
- Examinar o impacto social do uso de materiais sustentáveis;
- Comparar materiais sustentáveis e convencionais quanto a desempenho, manutenção e ciclo de vida.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Sustentabilidade na Construção Civil

A sustentabilidade na construção civil é um tema que ganhou destaque significativo nas últimas décadas, impulsionado pela crescente conscientização sobre a necessidade de práticas ambientalmente responsáveis e a urgência de mitigar os impactos ambientais associados ao setor. A construção civil é uma das indústrias mais impactantes em termos de consumo de recursos naturais, geração de resíduos e emissão de gases de efeito estufa. Portanto, a incorporação de práticas sustentáveis nesse setor é crucial para promover um desenvolvimento mais equilibrado e reduzir os danos ambientais.

Sustentabilidade na construção civil refere-se à aplicação de princípios e práticas que buscam minimizar os impactos negativos ao meio ambiente, promover a eficiência no uso de recursos e proporcionar benefícios sociais e econômicos. Segundo Elkington (1999), a sustentabilidade deve ser vista através do prisma do "*triple bottom line*", que inclui três pilares: econômico, ambiental e social. Isso significa que uma construção sustentável deve ser financeiramente viável, ambientalmente amigável e socialmente benéfica.

Os princípios de sustentabilidade na construção envolvem diversas estratégias, incluindo o uso eficiente de energia e água, a minimização de resíduos, a utilização de materiais reciclados e recicláveis, a melhoria da qualidade do ambiente interno e a adoção de técnicas de construção que reduzam a pegada ecológica dos edifícios. Um dos marcos na promoção dessas práticas foi o conceito de "Construção Verde", que visa criar edifícios que sejam sustentáveis em todo o seu ciclo de vida, desde o planejamento e construção até a operação e demolição (KIBERT, 2012).

No contexto brasileiro, a sustentabilidade na construção civil é particularmente relevante devido aos desafios ambientais e sociais que o país enfrenta. Lutzemberger (2004) enfatiza a necessidade de integrar práticas sustentáveis em todos os níveis da construção para mitigar os impactos ambientais e promover um desenvolvimento mais equilibrado. Além disso, o Brasil possui um potencial enorme para o uso de materiais locais e sustentáveis, como o bambu e a terra crua, que podem reduzir significativamente os impactos ambientais associados à construção.

O impacto ambiental da construção civil é substancial. Segundo dados do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), o setor é responsável por uma grande parte das emissões globais de gases de efeito estufa, além de ser um dos maiores consumidores de recursos naturais. A produção de materiais de construção, como cimento e aço, contribui significativamente para essas emissões. A utilização de técnicas de construção

sustentável, como o uso de materiais reciclados e a incorporação de tecnologias de energia renovável, pode reduzir significativamente esses impactos.

Além dos benefícios ambientais, a construção sustentável também pode trazer vantagens econômicas e sociais. Edifícios sustentáveis tendem a ter menores custos operacionais devido à eficiência energética e ao uso de materiais duráveis, resultando em economia de longo prazo. Socialmente, a construção sustentável pode melhorar a qualidade de vida dos ocupantes, proporcionando ambientes mais saudáveis e confortáveis (CARLO e LAMBERTS, 2010).

A adoção de práticas sustentáveis na construção civil também é incentivada por certificações e normas internacionais e nacionais, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e o Selo Verde. Essas certificações reconhecem e promovem práticas de construção sustentável, oferecendo um guia para empresas e profissionais do setor.

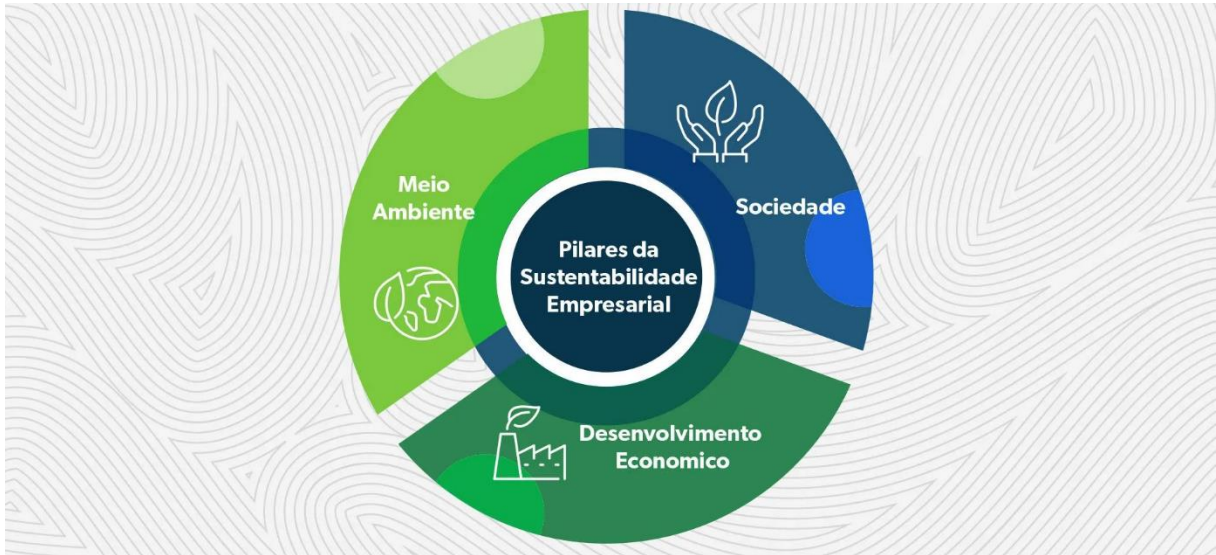
Em suma, a sustentabilidade na construção civil é um conceito fundamental para a promoção de um desenvolvimento mais equilibrado e responsável. Envolve uma abordagem integrada que considera os aspectos econômicos, ambientais e sociais, buscando minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios. Autores como Elkington (1999) e Lutzemberger (2004) destacam a importância de práticas sustentáveis para a preservação do meio ambiente e a promoção de um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

### **3.1.1 Conceitos e Definições**

No contexto atual, a busca por práticas construtivas mais sustentáveis é impulsionada por uma série de desafios globais, incluindo a mudança climática, a escassez de recursos naturais e a rápida urbanização. Nesse sentido, a engenharia civil desempenha um papel crucial na promoção do desenvolvimento sustentável, através da adoção de tecnologias inovadoras, materiais ecoeficientes e estratégias de planejamento urbano integrado.

Um dos conceitos fundamentais na sustentabilidade é o conceito dos três pilares: ambiental, social e econômico. Esses pilares, também conhecidos como o "tripé da sustentabilidade", formam a base para práticas e políticas que buscam equilibrar o desenvolvimento humano e a preservação ambiental. O pilar ambiental foca na preservação e no uso eficiente dos recursos naturais, minimizando o impacto das atividades humanas no meio ambiente. O pilar social está relacionado à equidade, inclusão e justiça social, garantindo que as práticas sustentáveis beneficiem todas as camadas da sociedade. Por fim, o pilar econômico envolve a viabilidade financeira e a criação de valor econômico, assegurando que as práticas sustentáveis sejam também economicamente vantajosas.

Figura 1: Os três pilares da Sustentabilidade Empresarial.



Fonte: Eco238, 2023.

A eficiência energética é um componente crucial do pilar ambiental, pois visa minimizar o consumo de energia e reduzir as emissões de gases de efeito estufa associadas às atividades construtivas (ABNT, 2014). Práticas de eficiência energética incluem o uso de materiais e tecnologias que melhoram o isolamento térmico, a implementação de sistemas de iluminação e ventilação mais eficientes, e o aproveitamento de fontes de energia renovável. Essas práticas não só contribuem para a preservação do meio ambiente, mas também podem resultar em significativas economias de custo a longo prazo.

Entretanto, vai além da mitigação dos impactos ambientais, englobando também a promoção da equidade social e o respeito às comunidades locais. Isso envolve a participação ativa das partes interessadas no processo decisório, a garantia de condições de trabalho dignas e a inclusão de medidas de acessibilidade e segurança nas obras (IBEC, 2018).

Portanto, o tema representa um desafio e uma oportunidade para a transformação do setor, rumo a práticas mais responsáveis e resilientes (MOTTA, 2009). Através do desenvolvimento e aplicação de tecnologias sustentáveis, aliadas a políticas públicas e regulamentações adequadas, é possível construir um futuro mais sustentável e equitativo para as próximas gerações (EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

### 3.1.2 Importância da Sustentabilidade na Construção Civil

A importância transcende a mera adoção de práticas ambientalmente responsáveis; abrange aspectos sociais, econômicos e ambientais. Destacamos algumas das razões fundamentais para sua adoção:

- **Redução do Impacto Ambiental:** O uso de materiais ecoeficientes e tecnologias verdes, contribui para a redução do consumo de recursos naturais, redução da emissão de gases de efeito estufa e a minimização dos resíduos gerados durante a construção (MOTTA, 2009);

- **Eficiência Energética e Redução de Custos:** Além dos benefícios ambientais, também promove a eficiência energética e a redução de custos operacionais. A utilização de sistemas de iluminação LED e isolamento térmico adequado pode reduzir significativamente os custos com energia elétrica e manutenção, gerando economias a longo prazo para os proprietários e usuários dos edifícios (CARLO e LAMBERTS, 2010);

- **Gestão de Resíduos:** Pesquisas demonstram como a promoção da reciclagem e reutilização de materiais pode reduzir a pressão sobre os aterros sanitários e minimizar os impactos ambientais associados à disposição inadequada de resíduos (MÜLFARTH, 1999);

- **Melhoria da Qualidade de Vida:** Edifícios construídos com práticas sustentáveis frequentemente oferecem um ambiente interno mais saudável e confortável para os ocupantes. Isso pode ser alcançado através do uso de materiais de construção de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs), sistemas de ventilação eficientes que melhoram a qualidade do ar interior e projetos que maximizam a entrada de luz natural, contribuindo para o bem-estar e a produtividade dos usuários;

- **Resiliência e Adaptação às Mudanças Climáticas:** Em face das mudanças climáticas, a construção sustentável pode aumentar a resiliência das edificações às mudanças climáticas, garantindo sua capacidade de resistir a eventos extremos, como tempestades, enchentes e ondas de calor.

### 3.1.3 Impactos Ambientais da Construção Civil

A construção civil figura entre os setores de maior impacto ambiental em escala global. Desde a sua fase inicial até a operacionalização dos empreendimentos, ela exerce uma influência significativa sobre o meio ambiente, consumindo 75% dos recursos naturais do Planeta e demandando uma reflexão acerca de suas práticas e consequências (MOTTA; FERNANDES, 2003).

Figura 2: Gastos representativos da Construção Civil na esfera mundial.



Fonte: Vivanesta, 2022.

Inicialmente, destaca-se a destruição de áreas verdes para a instalação de edificações, um processo que altera diretamente a paisagem e compromete a biodiversidade local. O movimento de terra durante as etapas de preparação do terreno, além de viabilizar a construção, também pode acarretar em desequilíbrios ambientais, como a erosão do solo e o comprometimento dos recursos hídricos (SOUZA, 2007).

Figura 3: Impactos da Construção Civil no Meio Ambiente.



Fonte: Sustentarqui, 2019.

No que tange à fabricação de materiais de construção, uma das principais preocupações reside no alto consumo de recursos naturais. A extração de elementos fundamentais, como argila, brita e areia, não apenas causa danos irreversíveis aos ecossistemas, mas também contribui para a diminuição da disponibilidade desses recursos. Além disso, o processo de

produção de cimento, amplamente utilizado na construção civil, é responsável por significativas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um dos principais gases de efeito estufa (WBCSD, 2010).

Não menos relevantes são os impactos decorrentes da produção de materiais como ferro e aço, muitas vezes associada a práticas não sustentáveis, como o uso de madeira ilegal e a utilização de materiais tóxicos, como tintas e solventes. Adicionalmente, o transporte desses materiais ao longo de grandes distâncias também gera impactos ambientais consideráveis, contribuindo para a emissão de poluentes atmosféricos e para o consumo de combustíveis fósseis.

Durante a fase operacional, a construção civil continua a demandar recursos significativos, com destaque para o consumo de energia e água. Estima-se que edificações sejam responsáveis por uma parcela substancial do consumo global de energia, além de representarem uma demanda considerável por recursos hídricos (UNEP, 2023).

A geração de resíduos é outro aspecto crítico da construção civil. Durante as fases de construção, demolição e reforma, uma quantidade significativa de resíduos sólidos é produzida, incluindo entulhos, restos de materiais de construção e resíduos perigosos. Estes resíduos, se não geridos de forma adequada, podem causar sérios problemas ambientais, como a contaminação do solo e da água, além de contribuir para a saturação dos aterros sanitários. A reciclagem e o reaproveitamento de materiais de construção são práticas essenciais para mitigar este impacto, promovendo a economia circular e a sustentabilidade no setor.

Figura 4 e 5: Resíduos gerados na Construção Civil.



Fonte: Teledetritus, 2019.

### 3.2 Materiais Sustentáveis na Construção

Abordaremos uma variedade de materiais e técnicas que visam reduzir o impacto ambiental da construção, promover a eficiência energética e garantir a durabilidade das edificações. A análise desses materiais considera não apenas suas propriedades técnicas e

desempenho estrutural, mas também seu ciclo de vida, impacto ambiental e viabilidade econômica.

### **3.2.1 Tipos de Materiais Sustentáveis**

Ao explorar os diferentes tipos de materiais sustentáveis, passaremos para uma compreensão abrangente das opções disponíveis para construção sustentável, incentivando a adoção de práticas mais responsáveis e ambientalmente conscientes na indústria da construção civil.

#### **3.2.1.1 Materiais Reciclados**

Materiais reciclados são aqueles que foram processados a partir de resíduos ou produtos descartados e transformados em novos materiais, reduzindo assim a necessidade de utilizar matérias-primas virgens. Na construção civil, os materiais reciclados podem incluir concreto reciclado, aço reciclado, plástico reciclado, entre outros. A reciclagem desses materiais contribui para a redução do volume de resíduos enviados para aterros sanitários, além de minimizar a extração de recursos naturais e as emissões associadas aos processos de fabricação. (MOTTA e AGUILAR, 2008)

##### **3.2.1.1.1 Concreto reciclado**

O uso de agregados reciclados na produção de concreto representa uma abordagem inovadora e sustentável na construção civil. Este tipo de concreto é fabricado a partir de agregados provenientes de resíduos de concreto demolido, que são processados e reutilizados como substitutos para agregados naturais. A reciclagem de concreto contribui significativamente para a redução de resíduos de construção e demolição, além de diminuir a extração de recursos naturais (PEREIRA *et al.*, 2012).

Figura 6: Agregados Recicláveis.



Fonte: TecnoMor, 2019.

O concreto convencional é fabricado com agregados convencionais, naturais ou britados; cujas propriedades já tenham sido suficientemente caracterizadas. Os agregados para concreto podem ser classificados principalmente de acordo com seu tamanho, procedência, densidade, forma e textura.

Figura 7 - Produção do Concreto Convencional.



Fonte: Inova Civil, 2020.

A Figura 7 nos auxilia na ilustração do processo de produção do concreto reciclado. A primeira etapa envolve a coleta de resíduos de concreto que podem ser provenientes de sobras de construções, demolições ou reformas. Após a coleta, esses materiais são direcionados a

locais apropriados. Esse transporte deve ser feito de maneira eficiente para evitar a dispersão de partículas e a poluição do meio ambiente.

A terceira etapa ocorre nas instalações de reciclagem onde os resíduos de concreto são processados. Nesse processo, o concreto é triturado e separado de outros materiais contaminantes, como metais e plásticos. O material triturado é então peneirado e classificado por tamanho para produzir agregados reciclados de qualidade. Este agregado reciclado pode ser utilizado em novas misturas de concreto, reduzindo a necessidade de extração de novos recursos naturais.

A última etapa do ciclo mostra a aplicação do concreto reciclado em novas construções. O agregado reciclado é misturado com cimento e água para formar concreto novo, que pode ser utilizado em diversas obras, desde fundações e pavimentações até elementos estruturais.

Figura 8 - Esquema da Reciclagem.



Fonte: Abrecon, 2017.

Diversos estudos exploram os benefícios e desafios do uso de agregados reciclados. Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), a utilização desses materiais pode reduzir significativamente o impacto ambiental associado à construção civil, uma vez que diminui a quantidade de resíduos destinados a aterros e a necessidade de extração de agregados naturais.

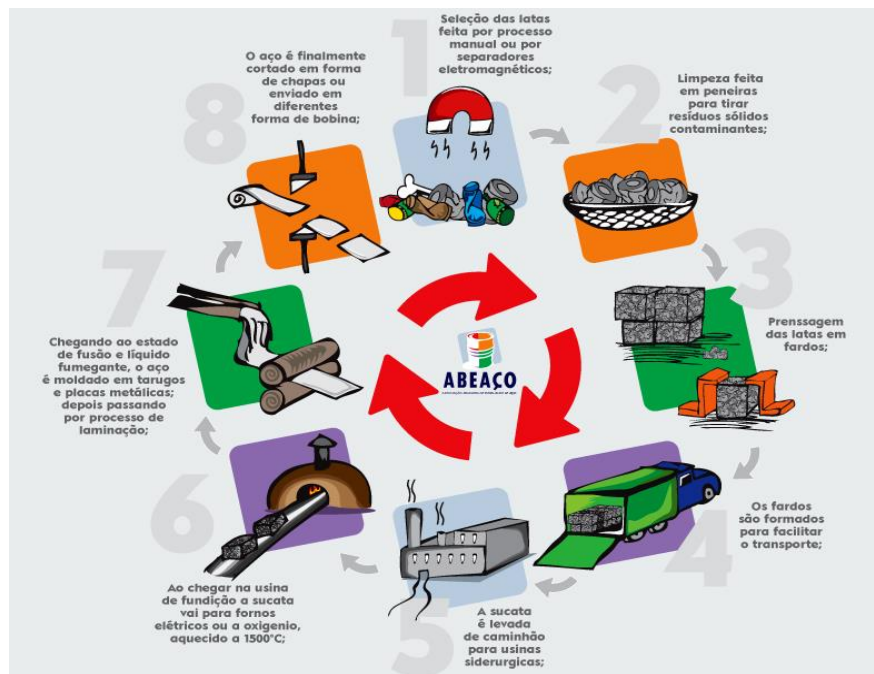
A durabilidade do concreto produzido com agregados reciclados pode ser ligeiramente inferior à do concreto convencional, devido à maior porosidade e à presença de microfissuras nos agregados reciclados. No entanto, técnicas como a introdução de aditivos e a melhora do processo de cura podem mitigar esses efeitos negativos (DUTRA; OSTROSKI; SOARES, 2021).

Além dos benefícios ambientais, a viabilidade econômica do concreto reciclado é um fator crucial. Em muitos casos, o custo inicial pode ser mais alto devido ao processamento dos resíduos, mas a longo prazo, os benefícios econômicos e ambientais tornam-se evidentes. A utilização de concreto reciclado pode ser incentivada por políticas governamentais e incentivos fiscais.

### 3.2.1.1.2 Aço reciclado

O aço se destaca pela sua capacidade de ser reutilizado inúmeras vezes sem perder suas propriedades fundamentais. Esse material é obtido a partir de sucatas metálicas, que são coletadas, separadas e fundidas para produzir novos produtos de aço. O processo de reciclagem do aço contribui significativamente para a redução de resíduos e a conservação de recursos naturais, além de apresentar vantagens econômicas e ambientais.

Figura 9 - Esquema de reciclagem do aço.



Fonte: Qualidade Online, 2010.

A reciclagem do aço começa com a coleta de sucata, que pode incluir automóveis antigos, eletrodomésticos, resíduos de construção e outros produtos de aço descartados. Após a coleta, a sucata é classificada e processada para remover materiais não metálicos e impurezas. Em seguida, a sucata é triturada e derretida em fornos de arco elétrico, onde é refinada para remover contaminantes e ajustar a composição química do aço. Este processo é altamente

eficiente e consome significativamente menos energia do que a produção de aço a partir de minério de ferro, conforme discutido pela *World Steel Association* (2020).

A produção de aço reciclado é mais sustentável do que a produção de aço virgem, pois consome menos energia e recursos naturais. De acordo com a *World Steel Association*, a reciclagem de uma tonelada de aço economiza 1.400 quilos de minério de ferro, 740 quilos de carvão e 120 quilos de calcário. Além disso, o processo de reciclagem reduz as emissões de dióxido de carbono em até 58% em comparação com a produção de aço a partir de matérias-primas virgens (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2020).

O aço reciclado mantém as mesmas propriedades mecânicas do aço virgem, incluindo resistência, ductilidade e durabilidade. Isso se deve ao fato de que o aço pode ser reciclado infinitamente sem degradação de suas propriedades intrínsecas. A incorporação de aço reciclado em projetos de construção não compromete a qualidade estrutural, tornando-o uma escolha ideal para aplicações em estruturas de edifícios, pontes e outras infraestruturas críticas, conforme indicado por Silva (2014).

Na construção civil, o aço reciclado é amplamente utilizado em diversas aplicações. Estruturas de aço, barras de reforço, perfis metálicos e painéis são alguns exemplos de produtos feitos a partir de aço reciclado. Além disso, o aço reciclado é usado na fabricação de componentes modulares e pré-fabricados, que facilitam a construção rápida e eficiente, reduzindo o desperdício de materiais no local da obra.

Apesar dos inúmeros benefícios, o uso de aço reciclado enfrenta alguns desafios. A variabilidade na qualidade da sucata metálica pode afetar a composição química do aço reciclado, exigindo um controle rigoroso durante o processo de reciclagem. Ademais, a infraestrutura para a coleta e processamento de sucata deve ser robusta para garantir um suprimento constante e de alta qualidade de matéria-prima reciclada, conforme discutido por Addis (2009).

Governos e organizações ambientais têm promovido o uso de materiais reciclados na construção civil através de incentivos fiscais, regulamentações e certificações. Programas como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e outras certificações verdes incentivam o uso de aço reciclado, reconhecendo e recompensando práticas de construção sustentável (USGBC, 2019).

Diversos projetos ao redor do mundo exemplificam o uso eficiente de aço reciclado. Por exemplo, a sede da *World Steel Association* em Bruxelas é um edifício que utiliza predominantemente aço reciclado, demonstrando tanto a viabilidade técnica quanto os benefícios ambientais do material (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2020).

Figura 10 - Sede da *World Steel Association*, Bruxelas, Bélgica.



Fonte: Worldsteel, 2020.

Suas vantagens ambientais, econômicas e técnicas fazem dele um material altamente desejável para diversas aplicações. Com o avanço da tecnologia de reciclagem e a crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade, o uso de aço reciclado na construção civil deve continuar a crescer.

#### 3.2.1.1.3 Plástico reciclado

O uso de plástico reciclado na construção civil está ganhando destaque como uma solução sustentável e inovadora. Este material tem sido empregado em várias aplicações, como a fabricação de tijolos, perfis de janelas e tubos, proporcionando benefícios ambientais e econômicos significativos. A crescente preocupação com a sustentabilidade e a necessidade de reduzir a quantidade de resíduos plásticos impulsionam a busca por alternativas que não comprometam a qualidade e a durabilidade das construções. Neste contexto, o plástico reciclado surge como uma solução promissora para a construção civil, oferecendo diversas vantagens e superando desafios importantes.

Uma das aplicações mais promissoras do plástico reciclado é a fabricação de tijolos. Empresas como a *Presanella Building System* têm utilizado resíduos plásticos coletados, limpos e processados para criar tijolos de construção. No Brasil, essa tecnologia tem permitido a construção de casas de até 80m<sup>2</sup>, utilizando cerca de 2.500 quilos de plástico reciclado por unidade (PRESANELLA BUILDING SYSTEM, 2023). Os tijolos de plástico reciclado oferecem várias vantagens, incluindo a redução do tempo de construção e a economia de custos, além de um impacto ambiental significativamente menor em comparação com os tijolos tradicionais.

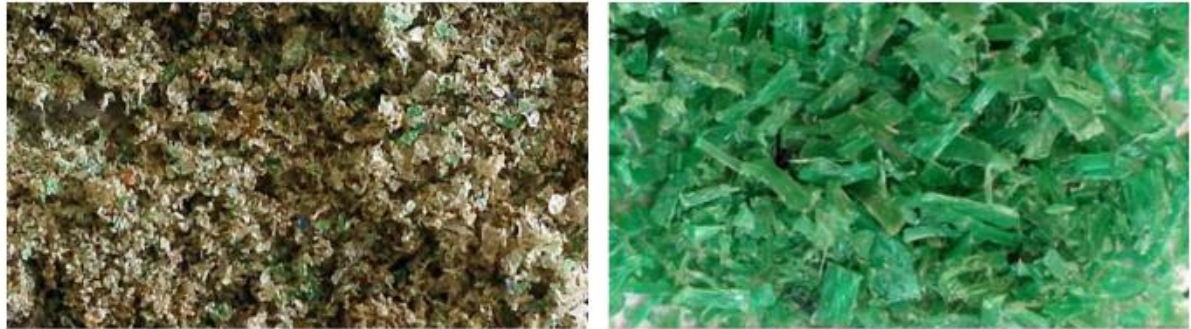
Figura 11 e 12 - Tijolos de plástico reciclado.



Fonte: Engenharia É, 2021.

Além dos tijolos, o plástico reciclado é utilizado na fabricação de perfis de janelas e tubos. Esses componentes essenciais para a construção civil, quando produzidos a partir de plástico reciclado, contribuem para a redução dos resíduos plásticos e a economia de recursos naturais. Os perfis de janelas de PVC reciclado, por exemplo, são conhecidos por sua durabilidade, resistência às intempéries e boas propriedades de isolamento térmico e acústico. Outra aplicação inovadora do plástico reciclado é o concreto reforçado com fibras plásticas. Essas fibras são adicionadas ao concreto para melhorar suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração e a durabilidade.

Figura 13 - Areia e flocos de PET.



Fonte: Blogreciclos, 2016.

Além disso, o uso de fibras plásticas recicladas pode reduzir a quantidade de cimento necessário, diminuindo assim as emissões de dióxido de carbono associadas à produção de cimento. Estudos mostram que a adição de fibras plásticas pode aumentar a resistência do concreto à fissuração, melhorando sua vida útil e desempenho estrutural.

Figura 14 e 15 - Concreto reforçado com fibras plásticas.



Fonte: Depositphotos, 2024.

O principal benefício ambiental do uso de plástico reciclado é a redução significativa dos resíduos plásticos que, de outra forma, seriam descartados em aterros sanitários ou poluiriam o meio ambiente. A produção de materiais de construção a partir de plástico reciclado consome significativamente menos energia em comparação com a produção de materiais novos, resultando em uma menor pegada de carbono e um impacto ambiental reduzido.

Os materiais de construção feitos de plástico reciclado são duráveis e resistentes, com propriedades mecânicas que podem igualar ou até superar as dos materiais convencionais. Os tijolos de plástico reciclado, por exemplo, são resistentes à água, ao fogo e a produtos químicos, o que os torna ideais para uma variedade de aplicações na construção civil. Além dos benefícios ambientais, o uso de plástico reciclado na construção civil também pode resultar em economia de custos. Os materiais reciclados tendem a ser mais baratos do que os materiais virgens, e a

sua utilização pode reduzir os custos totais de construção. Além disso, a produção de componentes a partir de plástico reciclado pode ser mais rápida e eficiente, reduzindo o tempo de construção e, conseqüentemente, os custos associados (ABIPET, 2010).

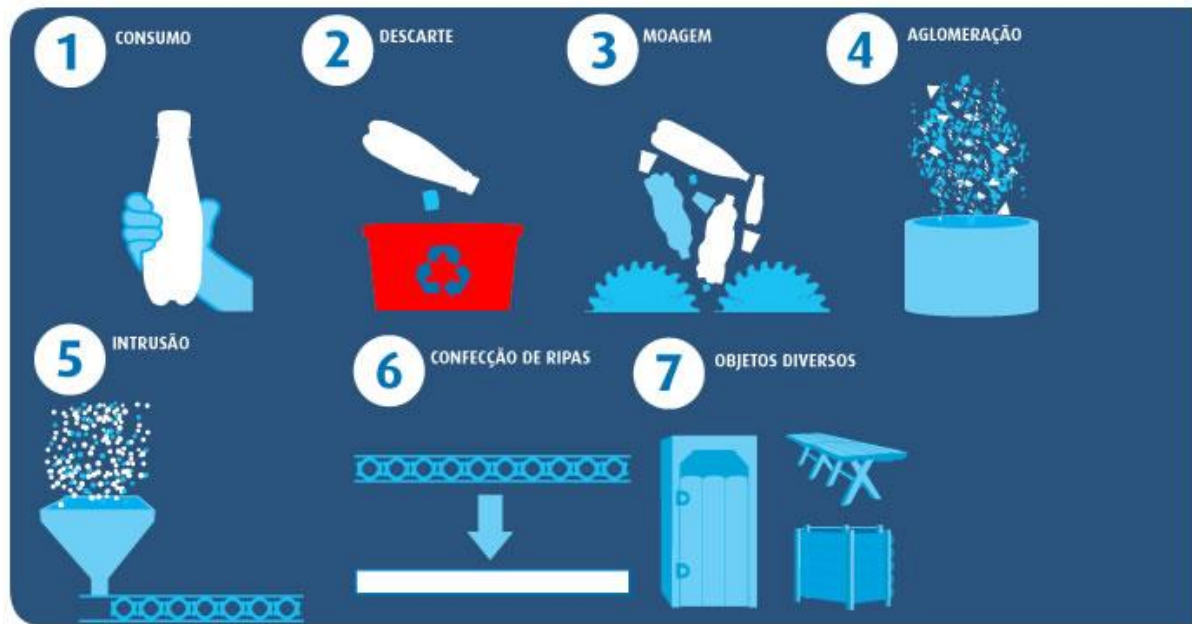
Figura 16 - Tábuas para deck feitas em plástico reciclável.



Fonte: Archiexpo, 2023.

Um dos principais desafios na utilização de plástico reciclado é garantir a qualidade e a pureza do material. A contaminação com outros tipos de resíduos ou a presença de aditivos indesejados pode comprometer as propriedades mecânicas e a durabilidade dos materiais reciclados. Portanto, é essencial que o processo de reciclagem inclua etapas rigorosas de separação e limpeza para garantir que o plástico seja adequado para uso na construção (QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999). Outro desafio é a conformidade com as normas e regulamentações de construção. Os materiais de construção devem atender a rigorosos padrões de segurança e desempenho, e pode haver incertezas sobre a aceitação e a regulamentação do uso de plástico reciclado em determinadas aplicações. No entanto, com o avanço das tecnologias de reciclagem e a crescente conscientização sobre a sustentabilidade, espera-se que as regulamentações se tornem mais favoráveis ao uso desses materiais.

Figura 17 - Processo de reciclagem do plástico.



Fonte: Recicloteca, 2014.

O processo de reciclagem do plástico começa com a coleta e separação dos resíduos plásticos. Isso pode ser feito por meio de programas de coleta seletiva, pontos de coleta em supermercados e outros locais públicos, ou pela coleta direta de resíduos industriais. Após a separação, os plásticos são triturados em pequenos pedaços e limpos para remover quaisquer resíduos de contaminantes. Este processo geralmente envolve a lavagem com água e detergentes específicos para garantir que os plásticos estejam limpos e prontos para a reciclagem. A limpeza eficaz é essencial para garantir a qualidade do plástico reciclado e sua adequação para uso em materiais de construção (QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999).

O plástico limpo e triturado é então derretido e moldado em novos produtos de construção. No caso dos tijolos de plástico reciclado, por exemplo, o material derretido é colocado em moldes específicos e deixado para secar e solidificar. Este processo de moldagem permite a produção de componentes de construção com formas e tamanhos precisos, garantindo a consistência e a qualidade do produto final (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO PLÁSTICO, 2021).

O uso de plástico reciclado na construção civil contribui para a redução das emissões de dióxido de carbono, além de reduzir a demanda por matérias-primas virgens, como o petróleo, que é a base para a produção de plásticos novos. Isso contribui para a conservação de recursos naturais e a redução dos impactos ambientais associados à extração e processamento dessas matérias-primas.

### 3.2.1.2 Materiais Naturais

Materiais naturais são aqueles obtidos diretamente da natureza, sem passar por processos de transformação química significativos. Na construção civil, os materiais naturais mais comuns incluem a madeira, o bambu, a terra crua (como adobe ou taipa), entre outros. Esses materiais são renováveis, biodegradáveis e geralmente possuem baixo impacto ambiental em comparação com materiais sintéticos. Além disso, sua produção costuma exigir menos energia e gerar menos resíduos durante o processo de fabricação.

#### 3.2.1.2.1 Bambu

O bambu, um recurso natural com múltiplas aplicações, tem recebido crescente atenção na indústria da construção civil devido às suas notáveis propriedades mecânicas e ambientais. Originário de regiões tropicais e subtropicais, o bambu é uma gramínea lenhosa que possui um crescimento rápido em comparação com outras espécies de árvores utilizadas na construção. Enquanto árvores convencionais podem levar décadas para atingir a maturidade, o bambu alcança sua plenitude em um curto período de três a cinco anos. Essa característica de crescimento rápido faz do bambu uma fonte renovável e sustentável de matéria-prima para a construção civil.

Figura 18 - Uso do bambu como andaime de assistência para construção.



Fonte: Fetz, 2019.

Um dos aspectos mais impressionantes do bambu é sua resistência mecânica. Estudos conduzidos por Ghavami e Marinho (2005) destacam que o bambu possui uma resistência à tração comparável à do aço, tornando-o adequado para uma variedade de aplicações estruturais,

como vigas, pilares, treliças e lajes. Além disso, o bambu é extremamente leve, o que facilita o transporte e a montagem das estruturas, reduzindo os custos e o tempo de construção.

Também possui características flexíveis que o tornam ideal para resistir a forças sísmicas e ventos fortes, tornando-o uma escolha popular em regiões propensas a desastres naturais. A capacidade de flexão do bambu confere-lhe uma vantagem adicional sobre outros materiais de construção, pois pode absorver e dissipar energia de maneira eficaz durante eventos sísmicos ou climáticos extremos. Essa capacidade de resposta o torna uma opção de construção resiliente e segura em áreas sujeitas a condições ambientais adversas. Estudos de caso conduzidos demonstram que o uso de bambu na construção civil pode resultar em edificações duráveis, esteticamente atraentes e ambientalmente responsáveis (AZZINI; BERALDO, 2001).

Além de suas propriedades mecânicas impressionantes, o bambu oferece benefícios ambientais significativos. Durante seu ciclo de crescimento, o bambu sequestra dióxido de carbono da atmosfera, ajudando a mitigar as mudanças climáticas. Enquanto as árvores levam décadas para acumular uma quantidade significativa de carbono, o bambu é capaz de fazê-lo em um período relativamente curto. Além disso, o processo de colheita do bambu é menos prejudicial ao meio ambiente do que a extração de madeira de árvores maduras, pois o bambu pode ser colhido sem destruir toda a planta.

As aplicações práticas do bambu na construção civil são diversas e abrangentes. Desde estruturas simples, como cercas e treliças, até edifícios de grande escala, como casas e escolas, o bambu tem sido usado de várias maneiras criativas e inovadoras. Um exemplo inspirador do potencial do bambu na arquitetura sustentável é a *Green School* em Bali, Indonésia.

Figura 19 e 20 - *Green School* em Bali, toda feita de Bambu.



Fonte: Archdaily, 2015.

Fundada em 2008, a *Green School* é uma escola internacional que foi construída quase inteiramente com materiais naturais e renováveis, incluindo bambu, bambu ecológico e palha de arroz. A escola foi projetada para funcionar em harmonia com o ambiente natural

circundante, incorporando princípios de permacultura e sustentabilidade em seu design e operação.

Apesar de suas muitas vantagens, o bambu também enfrenta desafios significativos em sua adoção generalizada como material de construção. Um dos principais desafios é a percepção de que o bambu é menos durável e confiável do que materiais tradicionais, como concreto e aço. Embora o bambu seja naturalmente resistente a insetos e fungos, ele ainda pode ser suscetível à deterioração se não for devidamente tratado e mantido. Métodos de tratamento, como a carbonização e a aplicação de boratos, são necessários para aumentar a durabilidade e a resistência do bambu contra pragas e intempéries.

Outro desafio importante é a falta de padronização e regulamentação do uso do bambu na construção civil. Enquanto materiais como concreto e aço são regulamentados por códigos de construção rigorosos, o bambu muitas vezes carece de diretrizes claras e específicas de engenharia. Isso pode dificultar a aprovação de projetos de construção que utilizam bambu como material estrutural, pois os reguladores podem não estar familiarizados com suas propriedades e características únicas. A falta de reconhecimento oficial do bambu como um material de construção viável pode limitar sua adoção em larga escala.

#### 3.2.1.2.2 Madeira de Reflorestamento

A madeira de reflorestamento está emergindo como uma alternativa sustentável e viável aos materiais convencionais na construção civil. Este material, proveniente de florestas plantadas especificamente para a extração controlada, oferece uma série de vantagens ambientais, econômicas e técnicas. A madeira de reflorestamento é originada de espécies de rápido crescimento, como o eucalipto e o pinus, cultivadas em florestas plantadas que são manejadas de forma sustentável.

Figura 21 - Floresta para extração controlada de madeira de reflorestamento.

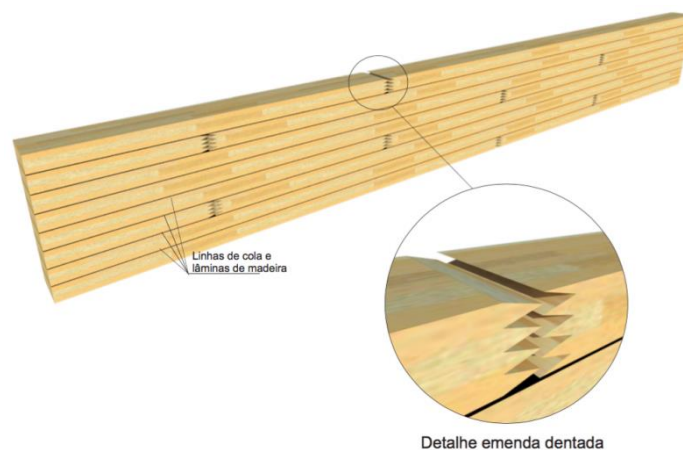


Essas florestas são planejadas para garantir a reposição contínua da madeira extraída, mantendo o equilíbrio ecológico e a biodiversidade local. A utilização de técnicas avançadas de manejo florestal garante que a madeira de reflorestamento tenha propriedades físicas e mecânicas adequadas para o uso na construção civil, como resistência, durabilidade e estabilidade dimensional (PFEIL, 2003).

A produção contribui para a captura de carbono, uma vez que as árvores absorvem dióxido de carbono da atmosfera durante seu crescimento. Esse processo ajuda a mitigar as mudanças climáticas, ao contrário de materiais convencionais como o concreto e o aço, cuja produção é altamente emissora de gases de efeito estufa. Além disso, o manejo sustentável das florestas plantadas previne o desmatamento ilegal de florestas nativas, preservando a biodiversidade e os ecossistemas naturais. Do ponto de vista econômico, ela apresenta um custo competitivo em relação aos materiais tradicionais de construção. A produção em larga escala e o ciclo curto de crescimento das árvores utilizadas permitem uma oferta constante de madeira, estabilizando os preços no mercado (SUNO, 2023).

A madeira de reflorestamento pode ser utilizada em diversas aplicações na construção civil, desde estruturas de suporte até acabamentos. Entre as principais aplicações, destacam-se as estruturas de madeira laminada colada (MLC). A madeira laminada colada é produzida a partir da colagem de lâminas de madeira de reflorestamento, formando peças estruturais de grande resistência e dimensões variadas. Essa tecnologia permite a criação de vigas, pilares e outras estruturas de madeira com alta performance mecânica, adequadas para construções de grande porte.

Figura 22 - Representação da madeira laminada colada.



Fonte: Engenheiro Madeireiro, 2018.

Além disso, os painéis de madeira laminada cruzada (MLC) são formados pela colagem de camadas de madeira em direções perpendiculares, resultando em elementos estruturais

robustos e estáveis. Esses painéis são utilizados em paredes, pisos e telhados, oferecendo alta resistência e bom desempenho térmico e acústico. A madeira de reflorestamento também é amplamente utilizada em acabamentos, como revestimentos de paredes, pisos e forros. Sua estética natural e capacidade de criar ambientes aconchegantes e saudáveis tornam-na uma escolha popular para projetos residenciais e comerciais.

A durabilidade da madeira, especialmente em condições de alta umidade ou ataque de pragas, é uma preocupação constante. Técnicas de tratamento e preservação da madeira, como a impregnação com produtos químicos e o uso de vernizes e pinturas protetoras, são essenciais para garantir a longevidade das estruturas de madeira. Outro desafio é a necessidade de conformidade com normas e regulamentações de construção que garantam a segurança e a qualidade das edificações.

### 3.2.1.2.3 Terra Crua

A utilização da terra crua como material sustentável é uma prática ancestral que vem ganhando destaque no contexto contemporâneo da engenharia e arquitetura sustentável. A terra crua, em suas diversas formas de aplicação, oferece uma série de vantagens ambientais, econômicas e sociais que a tornam uma escolha atraente para construções ecologicamente responsáveis (SEGANTINI e WADA, 2010).

A construção com terra crua abrange várias técnicas, sendo as mais comuns o adobe, a taipa de pilão e o COB. O adobe é composto por tijolos moldados de terra crua, geralmente misturados com fibras naturais como a palha, e secos ao sol. Esta técnica é amplamente utilizada em regiões áridas e semiáridas devido à sua capacidade de manter a temperatura interna das edificações estável, reduzindo a necessidade de sistemas artificiais de climatização.

Figura 23 e 24 - Confeção dos tijolos de Adobe e resultado final aplicado em paredes.



Por outro lado, a taipa de pilão envolve a compactação de terra em camadas dentro de formas de madeira, resultando em paredes robustas com alta inércia térmica. Essa técnica não só proporciona excelente isolamento térmico e acústico, mas também confere durabilidade às edificações. No Brasil, construções coloniais em taipa de pilão ainda são encontradas e exemplificam a longevidade dessa técnica.

Figura 25 e 26 - Confeção de taipas de pilão e resultado final em uma residência.



Fonte: Viva Decora, 2022.

A técnica do COB, que mistura terra, areia, palha e água, é aplicada em camadas grossas para formar paredes monolíticas. Essa técnica é apreciada por sua flexibilidade de design, permitindo a criação de formas orgânicas e personalizadas. Além disso, o COB é conhecido por suas propriedades de regulação térmica e umidade, criando ambientes internos confortáveis e saudáveis (BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, 2008).

Figura 27 e 28 - Confeção da técnica COB e resultado final em uma residência.



Fonte: Archdaily, 2020.

Um dos principais benefícios do uso da terra crua na construção é a sustentabilidade. Sendo um recurso abundante e localmente disponível, a terra reduz custos e impactos ambientais associados ao transporte de materiais. A extração e o processamento da terra crua requerem menos energia comparado ao concreto e ao aço, podendo reduzir as emissões de dióxido de carbono em até 80%.

O desempenho térmico das construções de terra crua é notável. Devido à sua alta capacidade térmica, essas construções mantêm uma temperatura interna estável, reduzindo o consumo de energia para aquecimento e resfriamento, resultando em maior eficiência energética. A inércia térmica da terra crua absorve e libera calor lentamente, criando um ambiente confortável durante todo o ano (MINKE, 2006)).

A resistência ao fogo é outra vantagem significativa da terra crua, que não é combustível e pode resistir a altas temperaturas, aumentando a segurança contra incêndios. Além disso, a terra crua resiste bem a pragas e fungos, graças à sua baixa permeabilidade e capacidade de regular a umidade, contribuindo para a durabilidade das construções (EVANS, 2002).

Há um preconceito em relação à durabilidade e segurança das construções de terra crua, dificultando sua aceitação. Investir em pesquisa, divulgação e capacitação é essencial para promover o conhecimento e a confiança nessas técnicas, demonstrando seus benefícios e viabilidade técnica e econômica (EVANS, 2002).

A construção com terra crua também pode preservar o patrimônio cultural e valorizar tradições construtivas locais. Em várias regiões, essas técnicas são parte da identidade cultural e histórica. Preservá-las e revitalizá-las contribui para a sustentabilidade e a valorização do patrimônio arquitetônico e cultural. Integrar técnicas tradicionais com tecnologias modernas pode resultar em soluções inovadoras e sustentáveis, respeitando o passado e adaptando-se às necessidades contemporâneas.

Economicamente, a construção com terra crua pode oferecer benefícios significativos, especialmente em regiões de baixa renda. Reduzir os custos com materiais e utilizar mão de obra local fortalece as economias locais e cria oportunidades econômicas. A simplicidade das técnicas de construção com terra crua permite a autoconstrução, capacitando as comunidades a construir suas próprias habitações de forma acessível e sustentável (NEVES, FARIA, 2011).

Figura 29 e 30 - Autoconstrução por meio da capacitação comunitária com terra crua.



Fonte: Varginha Digital, 2018.

### 3.2.1.3 Materiais com Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>

Materiais com baixa emissão de CO<sub>2</sub> são aqueles que são produzidos com menor quantidade de dióxido de carbono liberado durante o processo de fabricação em comparação com materiais convencionais. Na construção civil, alguns exemplos incluem o cimento ecológico, os tijolos ecológicos e o vidro sustentável. Esses materiais são desenvolvidos com tecnologias e processos que visam reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, seja por meio da utilização de matérias-primas alternativas, da otimização dos processos produtivos ou da incorporação de práticas mais sustentáveis ao longo da cadeia de produção (FERREIRA e ANJOS, 2011).

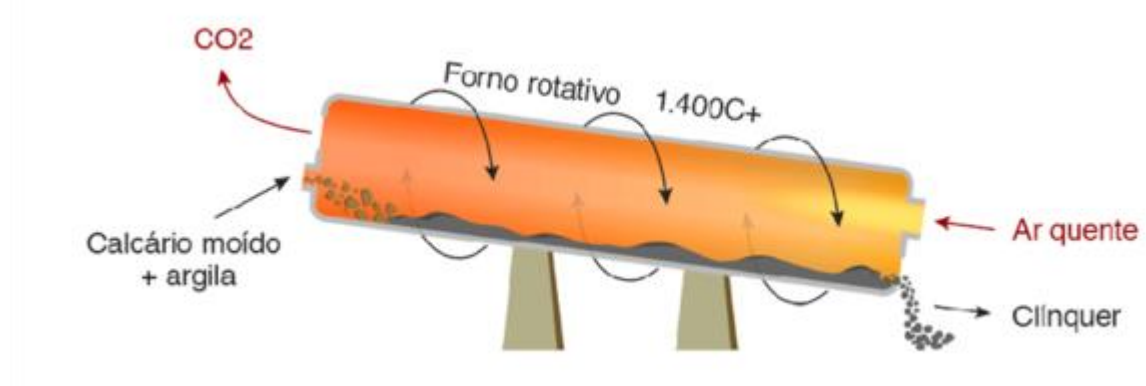
#### 3.2.1.3.1 Cimento Sustentável

O cimento sustentável, um componente fundamental na construção civil, tem sido objeto de estudos e pesquisas intensivas devido à sua capacidade de influenciar significativamente o desempenho ambiental e econômico de estruturas e edificações. A pressão crescente por práticas construtivas mais sustentáveis, em face dos desafios ambientais contemporâneos, tem impulsionado o desenvolvimento e a adoção de tecnologias e materiais alternativos na indústria da construção, com o cimento sustentável emergindo como uma solução promissora (ÂNGULO *et al.*, 2001).

A transição para o cimento sustentável é impulsionada, em grande parte, pelo reconhecimento dos impactos ambientais adversos associados à produção convencional de cimento Portland. De acordo com John (2000) a produção de cimento e cal, envolve a calcinação de calcário que é o principal componente do clínquer utilizado na fabricação do cimento Portland, é um processo intensivo em energia que libera grandes quantidades de CO<sub>2</sub>

na atmosfera. Portanto, reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes dessa fonte se tornou uma prioridade urgente na busca por práticas construtivas mais sustentáveis.

Figura 31 - Representação de como o cimento comum é feito



Fonte: Reciclos UFOP, 2020.

Nesse contexto, o cimento sustentável se destaca como uma alternativa viável e eficaz. A substituição parcial do clínquer por materiais pozolânicos, como escórias de alto forno, cinzas volantes e sílica ativa, tem sido amplamente explorada como uma estratégia para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> na produção de cimento. Esses materiais pozolânicos, quando incorporados ao cimento, reagem com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento Portland, formando compostos adicionais que reduzem a quantidade de clínquer necessária, resultando em emissões reduzidas de CO<sub>2</sub>.

Estudos realizados por John (1995), demonstraram que a substituição parcial do clínquer por materiais pozolânicos pode reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em até 50%, representando um avanço significativo em direção à sustentabilidade na produção de cimento. Além disso, a adição desses materiais pozolânicos pode melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto, contribuindo para estruturas mais resistentes e duráveis.

Seus benefícios ambientais e técnicos são inegáveis, mas a superação dos desafios associados à sua adoção requer uma abordagem holística que envolva pesquisa contínua, desenvolvimento de políticas e regulamentações adequadas e colaboração entre *stakeholders* da indústria. A implementação bem-sucedida do cimento sustentável contribui para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e a mitigação das mudanças climáticas.

### 3.2.1.3.2 Tijolos Ecológicos

Os tijolos ecológicos emergem como uma solução promissora, oferecendo uma abordagem mais sustentável para a fabricação de elementos estruturais e de vedação na construção civil. Pesquisas recentes têm destacado a relevância dos tijolos ecológicos como uma alternativa viável e eficiente. Os resultados demonstraram que os tijolos produzidos com esses materiais apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias, atendendo aos requisitos para uso na construção civil.

Esses tijolos são frequentemente compostos basicamente de solo, água e cimento. Também pode ser produzido com uma variedade de materiais sustentáveis, como resíduos industriais, materiais reciclados e materiais de baixo impacto ambiental. Conforme Paiva (2011), o uso de materiais reciclados na fabricação de tijolos ecológicos oferece benefícios, como a redução de custos e a possibilidade de gerar receita através da venda desses materiais. A redução de custos ocorre ao diminuir as despesas com insumos na construção, aproveitando melhor as matérias-primas e eliminando desperdícios (PAIVA, 2011). Por exemplo, resíduos de construção e demolição, como concreto reciclado, cerâmica triturada e vidro moído, são frequentemente utilizados como agregados na composição dos tijolos. Além disso, materiais reciclados, como pneus triturados, plásticos reciclados e papelão reciclado, também podem ser empregados na fabricação de tijolos ecológicos.

Os tijolos fabricados com materiais reciclados apresentam desempenho satisfatório em termos de resistência mecânica e durabilidade, destacando o potencial desses materiais como uma alternativa sustentável na construção civil (PISANI, 2005).

Figura 32 e 33 - Tipos de tijolos ecológicos.



Fonte: Eco Máquinas, 2020.

Além dos resíduos de construção e materiais reciclados, os tijolos ecológicos também podem ser fabricados a partir de materiais de baixo impacto ambiental, como adobes, tijolos de solo-cimento e tijolos de terra comprimida. Esses materiais são geralmente produzidos localmente, utilizando recursos disponíveis na região, como solo, argila e fibras vegetais. A

fabricação de tijolos com materiais de baixo impacto ambiental requer menos energia e recursos do que os tijolos convencionais de argila, tornando-os uma escolha sustentável para projetos de construção.

A produção de tijolos ecológicos pode ser realizada utilizando uma variedade de métodos e técnicas. Um dos métodos mais comuns é a prensagem, onde os materiais são compactados em moldes sob alta pressão para formar tijolos sólidos e uniformes. Este método é adequado para a produção em larga escala e pode ser automatizado para aumentar a eficiência e a produtividade.

Outro método de fabricação é a moldagem manual, onde os materiais são misturados manualmente e moldados em formas antes de serem deixados secar ao ar livre. Embora seja mais trabalhoso e demorado, este método oferece maior flexibilidade e permite a produção de tijolos personalizados em pequena escala.

Além dos benefícios ambientais, os tijolos ecológicos também oferecem benefícios técnicos, como durabilidade, resistência e propriedades de isolamento térmico e acústico (TEIXEIRA *et al.*, 2012). No entanto, sua adoção generalizada enfrenta desafios significativos, como a disponibilidade limitada de materiais sustentáveis, resistência da indústria e custo inicial mais alto em comparação com os tijolos convencionais de argila.

#### 3.2.1.3.3 Vidro Sustentável

O vidro sustentável é uma variante do vidro convencional que é produzida com o objetivo de minimizar seu impacto ambiental ao longo de seu ciclo de vida, desde a fabricação até o descarte.

Uma das principais diferenças entre o vidro sustentável e o vidro convencional está na composição e nos processos de fabricação. O vidro sustentável frequentemente incorpora materiais reciclados em sua produção, como vidro reciclado ou cacos de vidro provenientes de produtos descartados. Enquanto o vidro comum é tradicionalmente fabricado a partir de matérias-primas como areia, soda cáustica e calcário.

Figura 34 - Vidro triturado para sua reciclagem.



Fonte: Abravidro, 2022.

O vidro sustentável encontra uma ampla gama de aplicações na construção civil. Um dos seus usos mais comuns é em fachadas de edifícios, onde não apenas proporciona luz natural aos espaços interiores, mas também contribui para o isolamento térmico e acústico dos ambientes. Também pode oferecer benefícios adicionais em termos de eficiência energética e desempenho ambiental. Por exemplo, o uso de vidro de baixa emissão de CO<sub>2</sub> ou vidro duplo ou triplo pode ajudar a reduzir as perdas de calor e frio em edifícios, contribuindo para a eficiência energética e o conforto dos ocupantes. Essas características fazem do vidro sustentável uma escolha atraente para arquitetos, construtores e proprietários de imóveis que buscam uma abordagem mais sustentável para a construção e operação de edifícios.

Sua capacidade de permitir a entrada de luz natural nos edifícios reduz significativamente a dependência de iluminação artificial durante o dia, diminuindo assim o consumo de energia elétrica. Sendo assim, os avanços em tecnologia de isolamento térmico tornam o vidro sustentável uma escolha eficaz para melhorar a eficiência energética dos edifícios, mantendo uma temperatura interna confortável com menos necessidade de aquecimento e resfriamento (ABRAVIDRO, 2017; ANAVIDRO, 2017).

Outro aspecto relevante é o impacto positivo na saúde e no bem-estar dos ocupantes dos edifícios. A luz natural fornecida pelo vidro sustentável cria ambientes internos mais luminosos, saudáveis e produtivos, promovendo o conforto e a satisfação dos usuários. A durabilidade e a resistência do vidro sustentável garantem uma vida útil longa, reduzindo a necessidade de manutenção frequente e substituição de materiais.

Apesar dos benefícios, o uso generalizado de vidro sustentável na construção civil ainda passa por conflitos, como custos iniciais mais elevados e disponibilidade limitada de materiais sustentáveis.

### 3.2.2 Vantagens e Desvantagens dos Materiais Sustentáveis

Abaixo, por meio de tabelas, pontuamos algumas das vantagens e desvantagens do uso desses materiais na construção civil.

Tabela 1 - Vantagens e Desvantagens dos Materiais Reciclados.

<b>MATERIAIS RECICLADOS</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Concreto reciclado	Redução do consumo de recursos naturais	Possíveis variações na qualidade do material
Aço Reciclado	Redução da demanda por mineração e extração de minérios	Potencial de corrosão e enfraquecimento do material ao longo do tempo
Plástico Reciclado	Reutilização de resíduos plásticos, reduzindo a quantidade de lixo em aterros sanitários	Baixa resistência mecânica comparada a outros materiais

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens dos Materiais Naturais.

<b>MATERIAIS NATURAIS</b>	<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Bambu	Crescimento rápido e renovável	Necessidade de tratamento para resistir a insetos e umidade
Madeira de Reflorestamento	Redução do desmatamento de florestas naturais	Possibilidade de deterioração e apodrecimento em condições adversas
Terra Crua	Baixo impacto ambiental durante o processo de produção	Suscetibilidade à erosão e fragilidade estrutural

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens dos Materiais com Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>

MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub>	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Cimento Sustentável	Redução das emissões de CO <sub>2</sub> durante a produção de cimento	Custos iniciais mais elevados em comparação com o cimento convencional
Tijolos Ecológicos	Utilização de materiais reciclados ou naturais, reduzindo a demanda por materiais virgens	Possível variação na qualidade e resistência dos tijolos
Vidro Sustentável	Uso de materiais reciclados na produção de vidro, reduzindo a demanda por matérias-primas virgens	Fragilidade e risco de quebra durante o manuseio e transporte

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 3.3 Normas e Certificações

A crescente preocupação com a sustentabilidade na construção civil tem levado ao desenvolvimento e à implementação de diversas normas e certificações que visam garantir a eficiência ambiental, energética e a qualidade dos materiais utilizados. Este tópico abordará detalhadamente as principais normas e certificações que regem a construção civil sustentável, focando especialmente no sistema LEED, o Selo Verde e as normas da ABNT relacionadas.

#### 3.3.1 LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*)

O sistema de certificação LEED, desenvolvido pelo U.S. *Green Building Council* (USGBC), é uma das mais reconhecidas certificações de construção sustentável no mundo. Ele avalia os edifícios em várias categorias de sustentabilidade, incluindo eficiência energética, uso de materiais, qualidade ambiental interna, inovação em design, e localização e transporte. O LEED é utilizado globalmente como um padrão de excelência para edifícios ecológicos (GBC Brasil, 2023).

Desde sua criação em 1998, o LEED tem se expandido e evoluído para incluir uma ampla gama de tipos de edifícios e projetos, desde construções residenciais até comerciais, industriais e de infraestrutura. A evolução do LEED reflete a crescente ênfase na sustentabilidade e na construção verde, com revisões regulares que incorporam as últimas pesquisas e práticas no campo.

Figura 35 - Categorias de Avaliação do LEED.



Fonte: GBI Green Building Initiative, 2024.

Os critérios de avaliação do LEED são divididos em várias categorias principais, cada uma com seus próprios pontos específicos. Estas categorias incluem:

- **Sustentabilidade do Sítio:** Envolve a escolha de locais de construção que minimizam o impacto ambiental e aproveitam os recursos locais de forma eficiente. Inclui a gestão de águas pluviais e a redução da poluição causada pela construção;
- **Eficiência Hídrica:** Avalia a redução do uso de água dentro e fora do edifício. Inclui a instalação de sistemas de encanamento eficientes e o uso de paisagismo que requer pouca água;
- **Energia e Atmosfera:** Enfoca a redução do consumo de energia e a promoção de energias renováveis. Inclui a otimização do desempenho energético, a utilização de fontes de energia renováveis e a gestão da energia operacional;
- **Materiais e Recursos:** Incentiva o uso de materiais sustentáveis e a gestão de resíduos. Avalia o uso de materiais reciclados, de fontes locais e renováveis, e a redução de resíduos de construção;
- **Qualidade Ambiental Interna:** Visa melhorar o conforto e a saúde dos ocupantes do edifício. Inclui a qualidade do ar interno, o controle de umidade e a utilização de materiais de baixa emissão;
- **Inovação em Design:** Reconhece abordagens inovadoras na construção sustentável que não estão cobertas nas categorias anteriores;
- **Prioridade Regional:** Concede pontos adicionais para práticas que abordam problemas ambientais específicos da região onde o edifício está localizado.

O processo de certificação LEED começa com o registro do projeto no sistema LEED *online*, seguido pela documentação e verificação dos créditos desejados. Após a conclusão do projeto, a documentação é submetida ao GBCI (*Green Building Certification Institute*) para revisão. O GBCI avalia a conformidade do projeto com os requisitos do LEED e concede a

certificação com base nos pontos acumulados. Existem quatro níveis de certificação LEED: Certificado, Prata, Ouro e Platina, dependendo do número de pontos obtidos.

A certificação LEED oferece diversos benefícios, incluindo a redução dos custos operacionais, a melhoria da qualidade ambiental interna e o aumento do valor de mercado do edifício. Além disso, os edifícios certificados LEED tendem a atrair inquilinos e investidores que valorizam a sustentabilidade.

### 3.3.2 Selo Verde

O Selo Verde é uma certificação que reconhece e promove práticas sustentáveis em diversas indústrias. No Brasil, o Governo Federal está preparando um programa chamado “Selo Verde Brasil”. Esta é uma certificação única destinada a fortalecer a competitividade dos produtos e serviços brasileiros obtidos com baixa emissão de carbono (Governo Federal, 2024)

A ideia do Selo Verde surgiu como uma resposta às crescentes preocupações ambientais na década de 1970. No final dos anos 70, com a pressão do movimento ambientalista, começaram a surgir os primeiros selos verdes. A Alemanha inaugurou essa cultura com o “Anjo Azul” (*Blau Engel*) em 1978.

No Brasil, o “Programa Selo Verde Brasil” é uma iniciativa do governo federal que visa desenvolver uma estratégia nacional de certificação e avaliação de conformidade de produtos e de serviços brasileiros que comprovadamente possuem ciclo de vida socioambientalmente responsável. O programa tem o objetivo de facilitar e desburocratizar o acesso de produtos e serviços brasileiros a mercados internacionais, reduzir custos para produtores e exportadores no processo de certificação e, sobretudo, reforçar a imagem do Brasil no exterior quanto à sustentabilidade dos produtos nacionais.

Os benefícios do Selo Verde são muitos. As marcas agregam valor e credibilidade aos seus produtos, o que é uma grande vantagem. Além disso, ocorre uma diminuição de custos e desperdícios, o que é benéfico para a economia da empresa. O cumprimento e conformidade com a legislação também diminui riscos de operação, o que é uma segurança adicional para as empresas.

O Selo Verde também abre chances de exportação e parcerias com outras empresas, aumentando suas vendas e faturamento. Isso é especialmente importante em um mundo cada vez mais globalizado. Além disso, o Selo Verde reforça a imagem do Brasil no exterior quanto à sustentabilidade dos produtos nacionais, o que é um grande benefício para a imagem do país.

Dessa forma, os benefícios do Selo Verde incluem a valorização do empreendimento no mercado imobiliário, a redução dos custos operacionais através da eficiência no uso de recursos,

e a melhoria da imagem corporativa. Estes são todos aspectos importantes que contribuem para o sucesso de uma empresa no mercado atual.

### 3.3.3 Normas ABNT Relacionadas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desempenha um papel fundamental na padronização e regulamentação de práticas na construção civil. As normas ABNT relacionadas à sustentabilidade na construção civil estabelecem diretrizes e requisitos para garantir a qualidade, segurança e eficiência ambiental dos materiais e processos construtivos.

Principais Normas ABNT para Sustentabilidade na Construção Civil:

- **NBR 15575:** Esta norma, conhecida como Norma de Desempenho, estabelece os requisitos mínimos de desempenho para edificações habitacionais, abrangendo aspectos como durabilidade, segurança, conforto térmico e acústico, e sustentabilidade ambiental. É uma norma de referência para a construção sustentável no Brasil;
- **NBR 14001:** Esta norma estabelece os critérios para um sistema de gestão ambiental e dá orientações sobre como gerenciar os aspectos ambientais de suas atividades de forma mais eficaz, enquanto leva em consideração a proteção ambiental, a prevenção da poluição e as necessidades socioeconômicas;
- **NBR ISO 21931:** Esta norma fornece um quadro para avaliação da sustentabilidade em edifícios e outras construções, levando em consideração fatores técnicos, ambientais, econômicos e sociais;
- **NBR 10151 e NBR 10152:** Estas normas estabelecem os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes internos e externos. São fundamentais para garantir um ambiente construído que respeite o bem-estar dos ocupantes e a vizinhança;
- **NBR 15220:** Esta norma estabelece os métodos para a determinação da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. É fundamental para garantir o conforto térmico e a eficiência energética das edificações.

A implementação das normas ABNT na construção civil é um processo que envolve diversas etapas, desde o planejamento e projeto até a execução e operação das edificações. Os profissionais da construção devem estar familiarizados com os requisitos das normas e garantir que todos os aspectos do projeto estejam em conformidade. A conformidade com as normas ABNT não só assegura a qualidade e a segurança das construções, mas também promove a sustentabilidade e a eficiência dos recursos.

Os desafios para a conformidade com as normas ABNT incluem a necessidade de capacitação técnica dos profissionais, a adaptação dos processos construtivos e o investimento em tecnologias e materiais sustentáveis. No entanto, os benefícios são significativos, incluindo a melhoria da qualidade das construções, a redução dos impactos ambientais e a valorização dos empreendimentos no mercado imobiliário.

O futuro das normas ABNT na construção civil aponta para uma maior integração das práticas sustentáveis e inovadoras. Com o avanço das tecnologias e a crescente demanda por construções ecológicas, espera-se que as normas continuem a evoluir para incorporar as melhores práticas e promover a sustentabilidade em todos os aspectos da construção.

## 4 METODOLOGIA

Para realizar o estudo de caso sobre edificações que fazem uso de materiais sustentáveis dentro e fora do país, foi adotada uma abordagem de pesquisa qualitativa. Segundo Yin (2015), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que envolve uma investigação empírica de fenômenos contemporâneos dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos. Esta abordagem permite uma análise detalhada e aprofundada das construções selecionadas, explorando suas características, desempenho e impacto ambiental.

A seleção dos materiais a serem analisados foi baseada em critérios específicos relacionados à sustentabilidade, desempenho e disponibilidade local. Foram considerados materiais sustentáveis, sendo esses recicláveis, naturais e com baixa emissão de CO<sub>2</sub>, já abordados anteriormente, que tenham sido amplamente utilizados em construções sustentáveis dentro e fora do país. Foi realizada uma revisão da literatura para identificar as construções que tenham adotado esses materiais e que possam servir como estudos de caso para a pesquisa.

Os procedimentos de avaliação foram realizados com o objetivo de perceber o desempenho das construções selecionadas em termos de eficiência energética, redução de resíduos, qualidade do ar interno, conforto térmico e acústico, entre outros aspectos relevantes. Foram utilizados ferramentas e métodos de avaliação reconhecidos internacionalmente, como os critérios estabelecidos pelo programa LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e outras certificações de sustentabilidade.

A análise comparativa foi realizada tanto em nível internacional quanto nacional, permitindo a identificação de tendências e melhores práticas em sustentabilidade na construção civil. Foram selecionados edifícios representativos em diferentes países que tenham adotado materiais sustentáveis, permitindo uma comparação entre diferentes contextos e abordagens. Além disso, foram analisados edifícios nacionais que servem como exemplos de boas práticas em construção sustentável no Brasil.

Os resultados obtidos foram interpretados e discutidos com o objetivo de identificar padrões, tendências e lições aprendidas com os estudos de caso analisados. Foram destacados os benefícios e desafios associados à adoção de materiais sustentáveis na construção civil, bem como as implicações práticas para profissionais, formuladores de políticas e outros interessados no setor da construção sustentável. A discussão foi embasada em evidências concretas coletadas durante o estudo de caso, fornecendo *insights* valiosos para a promoção da sustentabilidade na construção civil.

## 5 ESTUDO DE CASO

Dentro do Estudo de Caso, será explorado um conjunto selecionado de projetos que se destacam pelo uso inovador de materiais sustentáveis na construção civil. Esses projetos são reconhecidos como referências internacionais e nacionais, exemplificando os benefícios concretos e mensuráveis da adoção de práticas sustentáveis em edificações.

Cada um desses projetos oferece uma abordagem única e inspiradora para a integração de materiais sustentáveis em sua concepção e construção. Desde a utilização de materiais reciclados e de baixa emissão de carbono até a incorporação de soluções de energia renovável e design bioclimático, esses empreendimentos representam um compromisso com a inovação e a responsabilidade ambiental.

Ao explorar esses projetos, será possível identificar padrões e tendências emergentes no campo da construção sustentável, bem como extrair lições valiosas que podem informar e inspirar futuros projetos e iniciativas. Esses casos de sucesso destacam o potencial transformador da adoção de materiais sustentáveis, não apenas em termos de impacto ambiental, mas também em termos de eficiência energética, qualidade de vida e resiliência das comunidades construídas.

### 5.1 Projetos Internacionais

Tabela 4 - Projetos Internacionais a serem analisados no Estudo de Caso.

PROJETO	MATERIAIS SUSTENTÁVEIS PREDOMINANTES
Salesforce Tower, em <i>San Francisco</i> , <b>EUA.</b>	Concreto Reciclado, Aço Reciclado e Vidro Sustentável.
Elbphilharmonie em <i>Hamburgo</i> , <b>Alemanha.</b>	Concreto Reciclado, Vidro Sustentável, Madeira de Reflorestamento e Cimento Ecológico.
Centro Xewa Sowé para Órfãos em <i>Benim</i> , <b>África Ocidental.</b>	Terra Crua, Tijolos Ecológicos (barro) e Bambu.
Residência e Ateliê para Artesãos de Piyandeling em <i>Lembang</i> , <b>Indonésia.</b>	Bambu, Terra Crua, Madeira de Reflorestamento e Plástico Reciclado.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.1.1 Edifício *Salesforce Tower*, Estados Unidos

O edifício *Salesforce*, localizado em San Francisco, EUA, é um exemplo notável de arquitetura sustentável dentro da engenharia civil. Inaugurado em 2018, este arranha-céu de 326 metros de altura destaca-se não apenas pela sua imponência, mas também por suas práticas e tecnologias sustentáveis que visam reduzir o impacto ambiental e promover a eficiência energética.

Figura 36: Edifício *Salesforce*.



Fonte: Archdaily, 2018.

Uma das características sustentáveis mais proeminentes do edifício *Salesforce* é o uso extensivo de tecnologias de eficiência energética. O edifício é certificado LEED Platinum, a mais alta classificação concedida pelo *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), um sistema de certificação de edifícios sustentáveis. Para alcançar essa certificação, o *Salesforce Tower* incorpora várias estratégias inovadoras. Entre elas, destaca-se o uso de um sistema de ventilação natural que reduz a necessidade de aquecimento e resfriamento mecânico. Além disso, a fachada de vidro duplo permite um excelente isolamento térmico, ao mesmo tempo que maximiza a entrada de luz natural, reduzindo a dependência de iluminação artificial durante o dia (U.S. *Green Building Council*, 2018).

Outro aspecto crucial da sustentabilidade do *Salesforce Tower* é a gestão eficiente da água. O edifício possui um sistema de reciclagem de águas cinzas que coleta e trata águas residuais para reutilização em sanitários e irrigação paisagística. Este sistema é capaz de economizar milhões de litros de água por ano, contribuindo significativamente para a conservação dos recursos hídricos da região (ARCHDAILY, 2018).

O edifício também prioriza a sustentabilidade em sua construção, incorporando uma variedade de materiais *eco-friendly*. Durante o processo de edificação, foram empregados materiais reciclados e provenientes de fontes sustentáveis, como madeira certificada pelo FSC (*Forest Stewardship Council*) e aço reciclado. Essa escolha não apenas reduziu a pegada de carbono associada à produção e transporte de novos materiais, mas também contribuiu para melhorar a qualidade do ar interno. Muitos desses materiais possuem baixos níveis de compostos orgânicos voláteis (COVs), promovendo um ambiente mais saudável para os ocupantes do edifício.

A contribuição do *Salesforce Tower* para a sustentabilidade não se limita apenas às características físicas do edifício. A localização central em San Francisco facilita o acesso ao transporte público, incentivando os ocupantes a utilizarem meios de transporte mais sustentáveis, como trens e ônibus, em vez de carros particulares. Esta acessibilidade reduz a emissão de gases de efeito estufa associados ao transporte individual.

Dessa forma, o *Salesforce Tower* em San Francisco exemplifica um projeto de engenharia civil que integra diversas práticas sustentáveis para minimizar seu impacto ambiental. Desde a eficiência energética e a gestão da água até o uso de materiais sustentáveis e a promoção do transporte público, o edifício contribui significativamente para o avanço da construção sustentável.

### **5.1.2 Edifício *Elbphilharmonie*, Alemanha**

O edifício *Elbphilharmonie*, localizado em Hamburgo, Alemanha, é um exemplo notável de arquitetura moderna e inovação em engenharia civil, com um foco crescente em práticas sustentáveis. Inaugurado em 2017, este edifício não é apenas uma sala de concertos, mas também um marco arquitetônico que incorpora várias tecnologias e práticas de sustentabilidade.

Figura 37: Edifício *Elbphilharmonie*.



Fonte: Archdaily, 2016.

O *Elbphilharmonie* se destaca por seu design inovador, que inclui uma fachada de vidro curva projetada para maximizar a eficiência energética. A fachada permite a entrada de luz natural, reduzindo a necessidade de iluminação artificial durante o dia, ao mesmo tempo em que proporciona excelente isolamento térmico. Além disso, o edifício é equipado com sistemas avançados de climatização que utilizam tecnologias de recuperação de calor para reduzir o consumo de energia (HERZOG e DE MEURON, 2016).

Um aspecto crucial da sustentabilidade no *Elbphilharmonie* é o uso eficiente dos recursos hídricos. O edifício implementa um sistema de coleta e reutilização de águas pluviais, que são utilizadas para irrigação e outras necessidades não potáveis. Este sistema ajuda a reduzir significativamente o consumo de água potável, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos da região.

Além disso, o *Elbphilharmonie* promove o uso de materiais de construção sustentáveis. Durante a construção, foram utilizados materiais reciclados e de origem sustentável sempre que possível. Exemplos desses materiais incluem aço reciclado para a estrutura interna, concreto com adição de materiais reciclados para reduzir o consumo de cimento, e madeira certificada pelo FSC (*Forest Stewardship Council*) para acabamentos interiores. Isso não só reduz a pegada de carbono do edifício, mas também assegura que os materiais usados promovam a saúde

ambiental e a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida do edifício. O projeto também incluiu estratégias para minimizar a geração de resíduos, garantindo que a construção fosse o mais ecológica possível.

A localização do *Elbphilharmonie* no bairro de *HafenCity*, uma das áreas mais modernas e ecologicamente avançadas de Hamburgo, contribui para a sua acessibilidade e conexão com o transporte público. A proximidade com linhas de metrô e ônibus incentiva os visitantes a utilizarem meios de transporte mais sustentáveis, reduzindo a dependência de veículos particulares e, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa.

O *Elbphilharmonie* também desempenha um papel significativo na promoção da cultura e educação ambiental. O edifício não só abriga concertos e eventos culturais, mas também oferece programas educativos que destacam a importância da sustentabilidade e do design ecológico. Dessa forma, o *Elbphilharmonie* serve como um exemplo e inspiração para futuras iniciativas de construção sustentável.

Ao integrar um design inovador com soluções sustentáveis de eficiência energética e gestão de recursos, além de promover a conscientização ambiental, o *Elbphilharmonie* se posiciona como um marco na construção sustentável. Este edifício exemplifica como a engenharia pode harmonizar estética e funcionalidade com responsabilidade ambiental, contribuindo para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

### **5.1.3 Centro Xena Sowé para Órfãos, África**

O Centro *Xena Sowé* para Órfãos, localizado na aldeia de *Sowé*, Benim, é um projeto arquitetônico que exemplifica os princípios fundamentais da sustentabilidade na engenharia civil. Desenvolvido por uma equipe dedicada, o centro incorpora uma série de estratégias e práticas sustentáveis, desde a seleção de materiais até o processo de construção e operação (ArchDaily Brasil, 2024).

Figura 38: Centro *Xewa Sowé*.

Fonte: Archdaily, 2024.

Uma das características distintivas do projeto é a preferência por materiais sustentáveis e de origem local. A madeira, abundante na região, é o principal material estrutural utilizado na construção, devido à sua disponibilidade e baixo impacto ambiental associado ao transporte. Os telhados dos edifícios residenciais são cobertos com colmo, enquanto os edifícios técnicos empregam ferro ondulado, proporcionando uma solução eficiente em termos energéticos para controle térmico.

Além disso, o uso da terra crua como material de construção é uma abordagem inovadora e sustentável adotada neste projeto. A terra crua, disponível localmente e de baixo custo, oferece excelentes propriedades de isolamento térmico e regulação de umidade, reduzindo assim a dependência de sistemas mecânicos de climatização e aumentando a eficiência energética do edifício.

A decisão de adquirir todos os materiais dentro de um raio limitado da aldeia não apenas reduz os custos de transporte, mas também minimiza significativamente o impacto ambiental associado ao transporte de materiais de construção. Esta abordagem contribui para a redução das emissões de carbono e promove uma economia local sustentável, ao apoiar os fornecedores e artesãos locais.

Outro aspecto importante do projeto é o uso extensivo de métodos de construção manuais. Desde a escavação das fundações até a montagem dos elementos estruturais, a mão de obra local desempenha um papel crucial em todo o processo de construção. Isso não apenas

promove a geração de empregos na comunidade local, mas também contribui para a redução da energia cinza associada ao processo de construção, resultando em um impacto ambiental global reduzido.

Figura 39 e 40: Trabalho manual.



Fonte: Archdaily, 2024.

O Centro *Xewa Sowé* para Órfãos representa um marco significativo na aplicação de princípios de sustentabilidade na engenharia civil. Ao adotar uma abordagem integrada que valoriza materiais sustentáveis, práticas de construção responsáveis e impacto ambiental reduzido, este projeto exemplifica o potencial da engenharia civil para criar espaços habitáveis e funcionais que também respeitam o meio ambiente e promovem o desenvolvimento sustentável das comunidades locais. Através do estudo deste caso, espera-se inspirar futuros profissionais e pesquisadores a explorar e implementar soluções sustentáveis em seus próprios projetos de engenharia civil.

#### 5.1.4 Residência e Ateliê para Artesãos de *Piyandeling*, Indonésia

A Residência e Ateliê para Artesãos de *Piyandeling* representa um exemplo emblemático de como a engenharia civil pode integrar princípios sustentáveis em suas práticas. Localizado na comunidade de *Piyandeling*, na Indonésia, este projeto foi concebido não apenas para fornecer moradia e espaços de trabalho para artesãos locais, mas também para minimizar seu impacto ambiental e promover a resiliência socioeconômica da região (ArchDaily Brasil, 2021).

Figura 41: Residência e Ateliê para Artesãos de *Piyandeling*.



Fonte: Archdaily, 2021.

Uma das características distintivas deste empreendimento é sua abordagem holística em relação à sustentabilidade. Desde as fases iniciais de planejamento, foram considerados aspectos ambientais, sociais e econômicos para garantir que o projeto atendesse às necessidades da comunidade de forma equilibrada e integrada. Isso incluiu a seleção cuidadosa de materiais de construção, o uso de tecnologias e práticas construtivas eficientes e a integração com a comunidade local (REALRICH ARCHITECTURE WORKSHOP, 2021).

No que diz respeito aos materiais de construção, foram priorizados aqueles de baixo impacto ambiental e provenientes de fontes renováveis sempre que possível. Por exemplo, a madeira utilizada no projeto foi certificada, garantindo sua origem legal e sustentável. Além disso, foram adotadas práticas de reciclagem e reutilização de materiais, reduzindo assim a demanda por recursos naturais e minimizando a geração de resíduos durante a construção.

Ademais, ele destaca-se pelo uso inovador de materiais sustentáveis, como o bambu e o plástico reciclado. O bambu, escolhido como material estrutural principal, oferece uma alternativa sustentável e de baixo impacto ambiental para a construção civil, devido à sua rápida renovação e versatilidade. Já o plástico reciclado, utilizado em diversas aplicações no projeto, não só contribui para mitigar a poluição plástica, mas também demonstra o potencial de reutilização de materiais descartados, promovendo uma abordagem mais consciente e responsável na construção.

Figura 42: Uso de bambu e plástico reciclado.



Fonte: Archdaily, 2021.

Outro aspecto crucial do projeto foi sua preocupação com a eficiência energética e o uso racional dos recursos naturais. Estratégias de design bioclimático foram implementadas para aproveitar ao máximo as condições climáticas locais, proporcionando ambientes internos confortáveis e reduzindo a necessidade de sistemas mecânicos de climatização. Além disso, foram instalados sistemas de captação e reutilização de água da chuva, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos e a redução do consumo de água potável.

Além de suas considerações ambientais, o projeto também buscou promover a inclusão social e o desenvolvimento econômico da comunidade de *Piyandeling*. Isso foi alcançado por meio da participação ativa dos moradores locais em todas as etapas do processo de planejamento e construção, garantindo que suas necessidades e prioridades fossem devidamente consideradas. Além disso, o projeto gerou oportunidades de emprego e capacitação para os habitantes locais, contribuindo para o fortalecimento da economia da região.

Dessa forma, a Residência e Ateliê para Artesãos de *Piyandeling* é um exemplo inspirador de como a engenharia civil pode ser conduzida de maneira sustentável e socialmente responsável. Ao integrar princípios de sustentabilidade em todas as fases do projeto, desde o planejamento até a operação, este empreendimento demonstra o potencial da engenharia civil para promover o desenvolvimento sustentável e melhorar a qualidade de vida das comunidades em todo o mundo.

## 5.2 Projetos Nacionais

Tabela 5 - Projetos Nacionais a serem analisados no Estudo de Caso.

PROJETO	MATERIAIS SUSTENTÁVEIS PREDOMINANTES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Museu do Amanhã, <i>Rio de Janeiro</i>.</li> </ul>	- Concreto Reciclado, Aço Reciclado, Cimento Sustentável e Vidro Sustentável.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fábrica <i>Biotrends</i>, <i>Eusébio</i>.</li> </ul>	- Tijolos Ecológicos e Madeira de Reflorestamento.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casa Proa, <i>Paraty</i>.</li> </ul>	- Madeira de Reflorestamento.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casa na Mata, <i>São Paulo</i>.</li> </ul>	- Concreto e Aço Reciclado.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.2.1 Museu do Amanhã, Rio de Janeiro

Inaugurado em dezembro de 2015, o Museu do Amanhã é um dos projetos mais ambiciosos e emblemáticos do Rio de Janeiro, tanto em termos arquitetônicos quanto de sustentabilidade. Situado no Pier Mauá, na zona portuária do Rio, o museu faz parte do projeto de revitalização urbana conhecido como Porto Maravilha. O museu foi projetado pelo renomado arquiteto espanhol Santiago Calatrava, conhecido por suas obras inovadoras e inspiradas na natureza (Museu do Amanhã, 2023).

Figura 43: Museu do Amanhã.



Fonte: Archdaily, 2016.

O design do Museu do Amanhã é uma manifestação tangível dos princípios de sustentabilidade e inovação tecnológica. A estrutura do edifício é inspirada em formas naturais, evocando a imagem de uma planta em crescimento ou de um pássaro em voo. Este conceito bioclimático não é apenas estético, mas funcional, integrando várias características que minimizam o impacto ambiental e promovem a eficiência energética.

O sistema de ar condicionado do museu utiliza a água da Baía de Guanabara. A água é captada, circula pelo sistema de refrigeração e depois é devolvida à baía. Esse método eficiente de climatização reduz a necessidade de sistemas de refrigeração convencionais e economiza energia. Na construção do museu, foram usados materiais locais e de baixo impacto ambiental, como aço reciclado e concreto sustentável. A escolha desses materiais ajuda a reduzir a pegada de carbono da construção e promove a sustentabilidade a longo prazo.

O Museu do Amanhã é mais do que um edifício sustentável; é um espaço dedicado à educação ambiental e à conscientização sobre os desafios do futuro. Suas exposições são interativas e multidisciplinares, explorando temas como mudanças climáticas, biodiversidade, urbanização e transformação social.

Além de seu compromisso com a sustentabilidade ambiental, o Museu do Amanhã desempenha um papel crucial na revitalização da zona portuária do Rio de Janeiro. O projeto Porto Maravilha, do qual o museu faz parte, visa transformar uma área degradada em um novo polo cultural e turístico. O museu atrai milhares de visitantes, contribuindo para a economia local e promovendo a inclusão social e cultural.

O Museu do Amanhã é um grande exemplo de como a arquitetura pode ser usada para promover a sustentabilidade e a inovação. Integrando tecnologias verdes e um design bioclimático, o museu não só minimiza seu impacto ambiental, mas também educa e inspira os visitantes a refletirem sobre o futuro do planeta.

### 5.2.2 Fábrica *Biotrends*, Eusébio

A Fábrica *Biotrends*, situada na cidade do Eusébio, na Zona Metropolitana de Fortaleza, é um exemplo inspirador de como a arquitetura e a indústria podem se unir em prol da sustentabilidade. Nesse projeto, a parceria com a Rede Arquitetos resultou em um edifício que incorpora práticas ambientalmente responsáveis e o uso consciente de materiais.

Figura 44: Fábrica *Biotrends*.

Fonte: Archdaily, 2022.

A implantação da fábrica considerou elementos naturais, como árvores de grande porte no terreno e a possibilidade de alargamento futuro da via de acesso. Essa análise levou à configuração do edifício em quatro lâminas dispostas em torno de um pátio central. Além disso, a parte lateral do terreno foi mantida livre para futuras ampliações (REDE ARQUITETOS, 2020).

O projeto adotou uma estrutura de concreto, criando uma malha que enfatiza a horizontalidade na profundidade e a verticalidade no ponto de acesso. No entanto, o destaque está nos tijolos ecológicos, escolhidos como elemento construtivo. Esses tijolos são produzidos sem queima, reduzindo o impacto ambiental. Foram utilizados de diferentes maneiras: como paredes opacas nos ambientes mais fechados, como planos vazados nas áreas de circulação e de forma mista no muro frontal. Essa abordagem versátil e sustentável confere uma identidade forte ao edifício (REDE ARQUITETOS, 2020).

Figura 45: Uso de tijolos ecológicos.



Fonte: Archdaily, 2022.

A ocupação parcial do pavimento superior permite futuras ampliações sobre as lâminas térreas. O projeto também valoriza a conexão com a natureza, incorporando jardins verticais, telhados verdes e espaços abertos. Esses elementos não apenas melhoram a qualidade de vida dos ocupantes, mas também contribuem para a preservação do meio ambiente.

Dessa forma, a Fábrica *Biotrends* no Eusébio é um exemplo inspirador de como a engenharia pode ser aliada à sustentabilidade. Seu compromisso com materiais ecológicos e práticas conscientes serve como referência para outras empresas e profissionais do setor, mostrando que é possível construir um futuro mais verde e resiliente.

### 5.2.3 Casa Proa, Paraty

A sustentabilidade é uma consideração primordial neste projeto. A Casa Proa, que faz parte deste projeto, é um exemplo de como a engenharia pode ser sustentável e respeitosa com o meio ambiente. A casa é construída principalmente de madeira de reflorestamento, um material renovável que tem uma pegada de carbono significativamente menor do que os materiais de construção tradicionais.

Figura 46: Casa Proa.



Fonte: Archdaily, 2022.

Além do uso de madeira de reflorestamento, a Casa Proa também incorpora outras práticas de construção sustentáveis. Por exemplo, a casa é elevada do solo para minimizar o impacto no ambiente natural. Isso permite que a vegetação existente continue a crescer e que a fauna local se mova livremente. (ATELIER MARKO BRAJOVIC, 2020)

A orientação da casa também foi cuidadosamente planejada para aproveitar ao máximo a luz natural. Isso reduz a necessidade de iluminação artificial, o que, por sua vez, reduz o consumo de energia (ATELIER MARKO BRAJOVIC, 2020).

O projeto Casa Proa do *Atelier Marko Brajovic* vai além do uso de materiais sustentáveis. Ele incorpora uma abordagem holística à sustentabilidade que considera o ciclo de vida completo do edifício. Isso inclui a escolha dos materiais, o design do edifício, a construção, a operação e, finalmente, a demolição e o descarte. Cada etapa é considerada em termos de seu impacto ambiental, e medidas são tomadas para minimizar esse impacto.

Em suma, a Casa Proa demonstra que a sustentabilidade e a engenharia podem andar de mãos dadas. Ele mostra que é possível criar estruturas belas e funcionais usando materiais sustentáveis e práticas de construção ecológicas. Ao fazer isso, ele nos lembra da importância de viver em harmonia com a natureza e de proteger nosso planeta para as gerações futuras. A sustentabilidade, afinal, não é apenas uma escolha de design, mas uma responsabilidade que

todos compartilhamos. Este projeto é um lembrete poderoso de que a engenharia tem um papel importante a desempenhar na promoção da sustentabilidade.

#### 5.2.4 Casa na Mata, São Paulo

A sustentabilidade é um tema de grande relevância no mundo contemporâneo, permeando diversas áreas, inclusive a da construção civil. O uso de materiais sustentáveis na construção de edificações é uma prática que tem ganhado cada vez mais espaço, principalmente em países como o Brasil, que buscam alternativas para minimizar os impactos ambientais causados pela indústria da construção.

Figura 47: Casa na Mata.



Fonte: Archdaily, 2014.

Um exemplo emblemático dessa tendência é a Casa na Mata, projeto do escritório NITSCHÉ ARQUITETOS. Localizada em meio à natureza exuberante, a casa é um marco de sustentabilidade e inovação. A utilização de aço e concreto reciclados na sua construção demonstra o compromisso dos arquitetos com a preservação do meio ambiente e a promoção de práticas sustentáveis (NITSCHÉ ARQUITETOS, 2020).

O aço reciclado, além de ser uma opção ecologicamente correta, confere à edificação uma resistência e durabilidade notáveis. Já o concreto reciclado, obtido a partir de resíduos de

construção e demolição, contribui para a redução do consumo de recursos naturais e da quantidade de resíduos descartados no meio ambiente (NITSCHÉ ARQUITETOS, 2020).

A Casa na Mata é, portanto, um exemplo de como é possível aliar beleza, funcionalidade e sustentabilidade em um único projeto. Ela representa um novo paradigma na construção civil, onde o respeito ao meio ambiente e a utilização consciente dos recursos naturais são tão importantes quanto a estética e o conforto.

Essa tendência de utilizar materiais reciclados na construção civil é um passo importante para a construção de um futuro mais sustentável. Projetos como a Casa na Mata servem de inspiração e mostram que é possível construir de maneira responsável, sem abrir mão da qualidade e do design. A sustentabilidade, portanto, não é apenas uma tendência, mas uma necessidade urgente para a preservação do nosso planeta.

### 5.3 Resultados e Discussão

#### 5.3.1 Comparação com Materiais Tradicionais

Os materiais sustentáveis oferecem uma série de vantagens em relação aos materiais convencionais, destacando-se em termos de impacto ambiental positivo, eficiência energética e benefícios sociais e econômicos. Por exemplo, o uso de materiais como concreto reciclado, aço reciclado e bambu tende a resultar em uma pegada de carbono significativamente menor em comparação com os materiais convencionais. Isso ocorre porque esses materiais reduzem a necessidade de novos recursos naturais, como a extração de minerais para produção de cimento e aço, o que, por sua vez, diminui as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à sua produção.

Além disso, os materiais sustentáveis geralmente apresentam uma eficiência energética superior ao longo de seu ciclo de vida. Por exemplo, o bambu e a madeira de reflorestamento requerem menos energia para serem processados em comparação com o aço e o concreto convencionais. Isso contribui para a conservação de recursos e para a redução dos impactos ambientais, promovendo a economia circular e a minimização da quantidade de resíduos enviados para aterros.

Em termos de desempenho técnico, muitos materiais sustentáveis oferecem características comparáveis ou até superiores às dos materiais tradicionais. O bambu, por exemplo, possui uma resistência à tração superior à do aço, enquanto a terra crua oferece excelentes propriedades térmicas e acústicas. Esses materiais não apenas atendem aos requisitos de durabilidade e resistência mecânica, mas também melhoram o conforto térmico e acústico dos edifícios.

Socialmente, o uso de materiais sustentáveis pode gerar benefícios significativos, como a criação de empregos locais e o desenvolvimento de comunidades por meio da construção de habitações acessíveis e ecologicamente corretas. A madeira de reflorestamento e o bambu, por exemplo, promovem a economia local e incentivam práticas agrícolas sustentáveis.

No entanto, os materiais convencionais utilizados na construção civil frequentemente contribuem para diversas problemáticas ambientais. Um dos principais problemas é a intensa demanda por recursos naturais não renováveis, como a extração de minerais para produção de cimento, areia e pedra para concreto, e minério de ferro para produção de aço. Essa extração causa danos ambientais significativos, como a degradação de habitats naturais, a depleção de aquíferos e a perda de biodiversidade.

Além disso, a produção de materiais convencionais é altamente intensiva, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa e para o aquecimento global. A produção de cimento, por exemplo, é responsável por uma grande parte das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O uso de combustíveis fósseis durante a produção de materiais como o aço também contribui para a poluição atmosférica e a acidificação do solo e da água.

Outra problemática ambiental é a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Materiais como concreto, tijolos e argamassa representam uma grande parte dos resíduos gerados pela indústria da construção civil, e muitas vezes acabam em aterros sanitários, ocupando espaço e contribuindo para a contaminação do solo e da água.

Além disso, a construção e operação de edifícios convencionais muitas vezes resulta em alto consumo de energia e água, bem como na geração de poluentes atmosféricos e resíduos sólidos. Isso pode levar a impactos negativos na qualidade do ar, na saúde humana e no ecossistema local.

Portanto, as problemáticas ambientais envolvendo o uso de materiais convencionais na construção civil são diversas e abrangentes, destacando a necessidade urgente de transição para materiais mais sustentáveis e práticas construtivas ecoeficientes.

### **5.3.2 Desempenho Técnico**

Antes de explorar a tabela avaliativa dos materiais sustentáveis utilizados na construção civil, é essencial entender os critérios de avaliação que determinam a eficácia e a aplicabilidade desses materiais. Os critérios de avaliação do desempenho dos materiais foram divididos em três categorias: Durabilidade e Resistência Mecânica, Isolamento Térmico e Acústico e Manutenção e Ciclo de Vida.

### 5.3.2.1 Durabilidade e Resistência Mecânica

Focamos aqui na durabilidade, que se refere à capacidade do material de resistir ao desgaste e aos efeitos ambientais ao longo do tempo, e na resistência mecânica, que indica a capacidade do material de suportar cargas e tensões sem falhar. A tabela a seguir detalha esses aspectos para uma variedade de materiais reciclados, naturais e de baixa emissão de CO<sub>2</sub>, proporcionando uma visão abrangente de suas propriedades e desempenho.

Tabela 6 - Avaliação de Durabilidade e Resistência Mecânica dos Materiais Reciclados.

<b>MATERIAIS RECICLADOS</b>	<b>DURABILIDADE</b>	<b>RESISTÊNCIA MECÂNICA</b>
Concreto reciclado	Alta, se bem produzido. Pode durar várias décadas, dependendo da qualidade da produção e das condições ambientais.	Alta, comparável ao concreto convencional, com resistência à compressão de 20-50 MPa.
Aço Reciclado	Alta, se bem tratado. Aço é altamente durável e resistente à corrosão quando protegido adequadamente.	Alta, comparável ao aço virgem, com resistência à tração de 250-550 MPa.
Plástico Reciclado	Baixa, especialmente em ambientes expostos ao sol e condições climáticas adversas, pode degradar rapidamente.	Baixa, inferior a outros materiais de construção, geralmente entre 10-40 MPa.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 7 - Avaliação de Durabilidade e Resistência Mecânica dos Materiais Naturais.

<b>MATERIAIS NATURAIS</b>	<b>DURABILIDADE</b>	<b>RESISTÊNCIA MECÂNICA</b>
Bambu	Moderada, se tratado adequadamente contra insetos e umidade. Pode durar até 30 anos em condições ideais.	Moderada, com resistência à tração de 100-400 MPa.
Madeira de Reflorestamento	Alta, se bem tratada e mantida, pode durar várias décadas.	Alta, comparável à madeira natural, com resistência à compressão de 30-50 MPa.
Terra Crua	Baixa, suscetível à erosão e desgaste, especialmente em climas úmidos.	Baixa, inferior a outros materiais, com resistência à compressão de 2-5 MPa.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 8 - Avaliação de Durabilidade e Resistência Mecânica dos Materiais com Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>.

MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub>	DURABILIDADE	RESISTÊNCIA MECÂNICA
Cimento Sustentável	Alta, se bem produzido. Pode durar várias décadas, similar ao cimento convencional.	Alta, comparável ao cimento convencional, com resistência à compressão de 20-50 MPa.
Tijolos Ecológicos	Alta, se bem produzido. Pode durar várias décadas, dependendo das condições de uso e manutenção.	Alta, comparável aos tijolos convencionais, com resistência à compressão de 10-30 MPa.
Vidro Sustentável	Alta, comparável ao vidro convencional, com resistência a arranhões e impactos moderados.	Moderada, com resistência à compressão de 50-90 MPa, mas alta resistência à tração e impacto em algumas composições.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.3.2.2 Isolamento Térmico e Acústico

O isolamento térmico refere-se à capacidade de um material de resistir à transferência de calor, contribuindo para a eficiência energética e conforto térmico dos edifícios. O isolamento acústico, por sua vez, envolve a capacidade de um material de atenuar o som, reduzindo a transmissão de ruídos indesejados.

Tabela 9 - Avaliação de Isolamento Térmico e Acústico dos Materiais Reciclados.

MATERIAIS RECICLADOS	ISOLAMENTO TÉRMICO	ISOLAMENTO ACÚSTICO
Concreto reciclado	Moderado, possui propriedades térmicas semelhantes ao concreto convencional, com coeficiente de condução térmica de aproximadamente 1.6 W/mK.	Moderado, bom isolamento acústico devido à sua densidade e massa, com capacidade de atenuação sonora de 45-50 dB.
Aço Reciclado	Baixo, alta condutividade térmica de cerca de 50 W/mK, necessitando de camadas adicionais de isolamento.	Baixo, transmite som facilmente devido à sua rigidez e densidade, com isolamento acústico de 20-30 dB.
Plástico Reciclado	Moderado, varia com o tipo de plástico, com coeficiente de condução térmica entre 0.2-0.4 W/mK.	Baixo a moderado, dependendo da densidade e espessura, com isolamento acústico de 25-35 dB.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 10 - Avaliação de Isolamento Térmico e Acústico dos Materiais Naturais.

MATERIAIS NATURAIS	ISOLAMENTO TÉRMICO	ISOLAMENTO ACÚSTICO
Bambu	Moderado, bom isolamento térmico devido à estrutura celular oca, com coeficiente de condução térmica de aproximadamente 0.12 W/mK.	Moderado, isolamento acústico decente devido à flexibilidade e estrutura interna, com capacidade de atenuação sonora de 30-40 dB.
Madeira de Reflorestamento	Moderado, bom isolamento térmico com coeficiente de condução térmica de 0.13-0.17 W/mK.	Moderado, bom isolamento acústico devido à estrutura fibrosa, com capacidade de atenuação sonora de 30-45 dB.
Terra Crua	Alto, excelente isolamento térmico com coeficiente de condução térmica de 0.7-1.2 W/mK, dependendo da densidade.	Moderado a alto, boa capacidade de absorção de som devido à densidade, com isolamento acústico de 40-50 dB.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 11 - Avaliação de Isolamento Térmico e Acústico dos Materiais de Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>.

MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub>	ISOLAMENTO TÉRMICO	ISOLAMENTO ACÚSTICO
Cimento Sustentável	Moderado, propriedades térmicas semelhantes ao cimento convencional, com coeficiente de condução térmica de aproximadamente 1.6 W/mK.	Moderado, bom isolamento acústico similar ao cimento tradicional, com capacidade de atenuação sonora de 45-50 dB.
Tijolos Ecológicos	Alto, excelente isolamento térmico devido à estrutura porosa, com coeficiente de condução térmica de aproximadamente 0.6 W/mK.	Alto, excelente isolamento acústico devido à massa e densidade, com capacidade de atenuação sonora de 50-60 dB.
Vidro Sustentável	Baixo a moderado, dependendo da composição e tratamento, com coeficiente de condução térmica de 0.8-1.0 W/mK.	Moderado, bom isolamento acústico quando laminado ou duplo, com capacidade de atenuação sonora de 30-40 dB.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.3.2.3 Manutenção e Ciclo de Vida

A manutenção e o ciclo de vida dos materiais são fatores cruciais para a sustentabilidade e a viabilidade econômica dos projetos. A manutenção envolve todas as atividades necessárias para preservar as propriedades funcionais dos materiais ao longo do tempo, enquanto o ciclo de

vida refere-se ao período durante o qual um material mantém suas características de desempenho antes de precisar ser substituído. A tabela a seguir compara diferentes materiais sustentáveis usados na construção civil, destacando suas propriedades de manutenção e ciclo de vida.

Tabela 12 - Avaliação de Manutenção e Ciclo de Vida dos Materiais Reciclados.

<b>MATERIAIS RECICLADOS</b>	<b>MANUTENÇÃO</b>	<b>CICLO DE VIDA</b>
Concreto reciclado	Requer manutenção similar ao concreto tradicional, incluindo reparos de fissuras e reaplicação de selantes para proteção contra a umidade.	Moderado a longo, cerca de 50 a 75 anos, dependendo da qualidade da reciclagem e da aplicação.
Aço Reciclado	Requer proteção contra corrosão, como pintura ou galvanização, além de inspeções periódicas para detectar enfraquecimento estrutural.	Longo, mais de 100 anos, especialmente se bem protegido contra corrosão.
Plástico Reciclado	Baixa manutenção, necessitando apenas de limpeza periódica e inspeção para detectar danos físicos.	Moderado, cerca de 20 a 50 anos, variando com o tipo de plástico e exposição a fatores ambientais.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 13 - Avaliação de Manutenção e Ciclo de Vida dos Materiais Naturais.

<b>MATERIAIS NATURAIS</b>	<b>MANUTENÇÃO</b>	<b>CICLO DE VIDA</b>
Bambu	Requer tratamento contra pragas e umidade, além de inspeções regulares para garantir a integridade estrutural.	Moderado, 10 a 25 anos, dependendo das condições ambientais e do tratamento aplicado.
Madeira de Reflorestamento	Requer proteção contra pragas, umidade e fogo, incluindo a aplicação regular de selantes e tratamentos químicos.	Moderado a longo, cerca de 30 a 50 anos, dependendo da espécie e das condições de manutenção.
Terra Crua	Baixa manutenção, com necessidade de reparos ocasionais para corrigir erosões superficiais e aplicar proteção contra umidade.	Longo, mais de 100 anos, especialmente se bem protegida das intempéries.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 14 - Avaliação de Manutenção e Ciclo de Vida dos Materiais de Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>.

MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub>	MANUTENÇÃO	CICLO DE VIDA
Cimento Sustentável	Similar ao cimento convencional, requerendo reparos de fissuras e reaplicação de selantes para proteção contra a umidade.	Longo, mais de 75 anos, com manutenção adequada.
Tijolos Ecológicos	Requer inspeções regulares e aplicação de selantes para proteger contra umidade e erosão.	Longo, mais de 100 anos, especialmente em condições favoráveis.
Vidro Sustentável	Baixa manutenção, necessitando apenas de limpeza regular e inspeções para detectar rachaduras ou danos.	Longo, mais de 50 anos, especialmente se tratado adequadamente.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

#### 5.3.2.4 Impacto Social e Inovação

A adoção de materiais sustentáveis não apenas promove práticas ambientalmente responsáveis, mas também gera benefícios sociais significativos e impulsiona o avanço tecnológico na indústria. As tabelas exploram as inovações associadas a esses materiais, incluindo novas técnicas de processamento, desenvolvimento de produtos avançados e aplicação de tecnologias emergentes. Essas avaliações são fundamentais para entender o papel transformador dos materiais sustentáveis na construção civil, tanto em termos de impacto social quanto de inovação tecnológica.

Tabela 15 - Avaliação do Impacto Social e Inovação dos Materiais Reciclados.

MATERIAIS RECICLADOS	IMPACTO SOCIAL	INOVAÇÃO
Concreto reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de empregos locais na coleta e reciclagem.</li> <li>- Redução de resíduos em aterros sanitários.</li> <li>- Contribuição para a economia circular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de novas técnicas de processamento e reutilização.</li> <li>- Implementação de tecnologias de britagem e separação de resíduos.</li> <li>- Projetos piloto e iniciativas de economia circular.</li> </ul>
Aço Reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apoio a comunidades envolvidas na reciclagem.</li> <li>- Promoção da sustentabilidade através</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de processos de reciclagem mais eficientes e menos energéticos.</li> </ul>

	<p>do uso contínuo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da exploração de novos recursos naturais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação de tecnologias avançadas de fundição e purificação.</li> <li>- Inovações em ligas e materiais compostos para melhorar propriedades.</li> </ul>
Plástico Reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhoria da gestão de resíduos plásticos.</li> <li>- Sensibilização da comunidade sobre reciclagem.</li> <li>- Incentivo à coleta seletiva e reciclagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação de novos produtos e aplicações a partir de plásticos reciclados.</li> <li>- Desenvolvimento de materiais de construção duráveis e flexíveis.</li> <li>- Utilização de técnicas de moldagem e impressão 3D com plásticos reciclados.</li> </ul>

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 16 - Avaliação do Impacto Social e Inovação dos Materiais Naturais.

MATERIAIS NATURAIS	IMPACTO SOCIAL	INOVAÇÃO
Bambu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustento de comunidades rurais e artesãos locais.</li> <li>- Promoção de práticas agrícolas sustentáveis.</li> <li>- Educação e capacitação em técnicas de construção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesquisa em tratamento e preservação para aumentar a durabilidade.</li> <li>- Desenvolvimento de novas técnicas de construção e engenharia com bambu.</li> <li>- Uso de bambu em estruturas complexas e inovadoras, como pontes e edifícios altos.</li> </ul>
Madeira de Reflorestamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação de empregos em manejo florestal e produção de madeira.</li> <li>- Incentivo ao manejo sustentável e reflorestamento.</li> <li>- Melhoria da biodiversidade e conservação ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de tecnologias de secagem e processamento avançadas.</li> <li>- Aplicação de técnicas de engenharia de madeira, como CLT (<i>Cross-Laminated Timber</i>).</li> <li>- Pesquisa em novos produtos de madeira composta e tratada.</li> </ul>
Terra Crua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acessibilidade a materiais de construção em comunidades carentes.</li> <li>- Preservação de técnicas tradicionais e culturais.</li> <li>- Redução do custo de construção para habitação social.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inovação em técnicas de estabilização e mistura para melhorar a resistência.</li> <li>- Desenvolvimento de métodos modernos para construção com terra crua, incluindo tijolos de terra comprimida (CEB) e superadobe.</li> <li>- Uso de terra crua em projetos arquitetônicos contemporâneos e sustentáveis.</li> </ul>

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 17- Avaliação do Impacto Social e Inovação dos Materiais de Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>.

MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO <sub>2</sub>	IMPACTO SOCIAL	INOVAÇÃO
Cimento Sustentável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução das emissões de CO<sub>2</sub> e poluentes.</li> <li>- Apoio a políticas de construção sustentável.</li> <li>- Criação de empregos em tecnologias de produção limpas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inovação em formulações de cimento que utilizam subprodutos industriais, como escória e cinzas volantes.</li> <li>- Desenvolvimento de cimentos de baixo carbono e com melhor eficiência energética.</li> <li>- Aplicação de novas tecnologias de cura e produção de cimento geopolimérico.</li> </ul>
Tijolos Ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhoria da eficiência energética de moradias.</li> <li>- Criação de empregos em processos de fabricação sustentável.</li> <li>- Educação sobre construção sustentável em comunidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de resíduos agrícolas e industriais na produção de tijolos.</li> <li>- Desenvolvimento de tijolos intertravados e sistemas modulares de construção.</li> <li>- Inovações em métodos de fabricação, como tijolos prensados e curados ao sol.</li> </ul>
Vidro Sustentável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução do consumo de recursos naturais.</li> <li>- Promoção da reciclagem de vidro.</li> <li>- Criação de empregos na indústria de reciclagem de vidro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de técnicas de produção que reduzam a emissão de CO<sub>2</sub> e o consumo de energia.</li> <li>- Inovação em vidros inteligentes e de alta eficiência energética, como vidros eletrocromáticos e termocromáticos.</li> <li>- Pesquisa e desenvolvimento em vidro fotovoltaico e autolimpante.</li> </ul>

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.3.2.5 Disponibilidade e Acessibilidade

A adoção de materiais sustentáveis na construção civil não depende apenas de suas propriedades ambientais e econômicas, mas também de sua disponibilidade e acessibilidade. As tabelas a seguir comparam esses materiais em termos de sua disponibilidade no mercado brasileiro e acessibilidade para construtores e consumidores, destacando as diferenças regionais, a facilidade de obtenção e os desafios logísticos associados. A análise desses aspectos é crucial para avaliar como a implementação de materiais sustentáveis pode ser ampliada e efetivamente integrada na prática cotidiana da construção civil.

Tabela 18 - Avaliação da Disponibilidade e Acessibilidade dos Materiais Reciclados no Brasil.

<b>MATERIAIS REICLADOS</b>	<b>DISPONIBILIDADE</b>	<b>ACESSIBILIDADE</b>
Concreto reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; presente em grandes centros urbanos.</li> <li>- Algumas iniciativas em projetos sustentáveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; crescimento em regiões metropolitanas, exigindo infraestrutura local de reciclagem.</li> <li>- Requer desenvolvimento de redes de fornecimento e políticas de incentivo à reciclagem.</li> </ul>
Aço Reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta; Brasil é um dos maiores recicladores de aço.</li> <li>- Uso difundido em construção e outros setores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta; amplamente disponível em diversas formas e especificações na indústria.</li> <li>- Bem estabelecido e acessível em todo o país.</li> </ul>
Plástico Reciclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; dependente de programas locais de reciclagem.</li> <li>- Crescente com políticas de incentivo à reciclagem.</li> <li>- Incentivo à coleta seletiva e reciclagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variável; acessível onde há programas eficientes de coleta e reciclagem de plásticos.</li> <li>- Depende da qualidade e abrangência dos programas de coleta seletiva locais.</li> </ul>

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 19 - Avaliação da Disponibilidade e Acessibilidade dos Materiais Naturais no Brasil.

<b>MATERIAIS NATURAIS</b>	<b>DISPONIBILIDADE</b>	<b>ACESSIBILIDADE</b>
Bambu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; abundante em regiões específicas como o Norte e Nordeste.</li> <li>- Disponibilidade sazonal e geográfica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; maior acessibilidade em áreas de cultivo e com tradição no uso do bambu.</li> <li>- Exige conhecimento técnico para aplicação adequada, embora esteja se popularizando.</li> </ul>
Madeira de Reflorestamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta; Brasil possui grandes áreas de reflorestamento.</li> <li>- Bem regulada e incentivada pelo governo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta; disponível em mercados especializados e grandes redes de materiais de construção.</li> <li>- Fácil acesso em diversas formas e tratamentos, promovida por políticas de manejo sustentável.</li> </ul>
Terra Crua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acessibilidade a materiais de construção em comunidades carentes.</li> <li>- Depende da qualidade do solo local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta; muito utilizada em áreas rurais e regiões com tradição de construção com terra.</li> <li>- Exige conhecimentos tradicionais e técnicos, mas é acessível e econômica.</li> </ul>

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 20 - Avaliação da Disponibilidade e Acessibilidade dos Materiais de Baixa Emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil.

<b>MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub></b>	<b>DISPONIBILIDADE</b>	<b>ACESSIBILIDADE</b>
Cimento Sustentável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; crescente aceitação e produção local.</li> <li>- Disponível principalmente em grandes centros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; varia conforme a disseminação de tecnologias e políticas de incentivo.</li> <li>- Requer integração de novas tecnologias de produção e políticas de apoio.</li> </ul>
Tijolos Ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; produção em expansão, principalmente em pequenas fábricas locais.</li> <li>- Incentivos em programas habitacionais sustentáveis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; acessível em regiões com fábricas especializadas e onde há maior demanda por construção sustentável.</li> <li>- Pode exigir investimentos iniciais em tecnologias de produção e conhecimento técnico.</li> </ul>
Vidro Sustentável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; crescente demanda e produção.</li> <li>- Produção concentrada em regiões com regulamentações ambientais fortes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada; depende da infraestrutura de reciclagem de vidro e das políticas de incentivo.</li> <li>- Requer tecnologias avançadas para produção e reciclagem, ainda em expansão no mercado brasileiro.</li> </ul>

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.3.2.6 Eficiência Energética

A eficiência energética dos materiais de construção é um aspecto crucial na promoção da sustentabilidade, pois materiais com alto desempenho energético podem reduzir significativamente o consumo de energia em edificações. A análise desses materiais se baseia em sua capacidade de isolamento térmico, redução de consumo energético e impacto na eficiência geral dos edifícios.

Tabela 21 - Avaliação da Eficiência Energética dos Materiais Reciclados.

<b>MATERIAIS RECICLADOS</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>CONTRIBUIÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>
Concreto reciclado	Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolamento térmico moderado, reduz necessidade de aquecimento/refrigeração.</li> <li>- Reutilização de material reduz energia de produção inicial.</li> </ul>
Aço Reciclado	Baixa a Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor eficiência térmica, necessita de isolamento adicional.</li> <li>- Reciclagem consome menos energia comparado à produção</li> </ul>

		de aço virgem.
Plástico Reciclado	Alta	- Excelente isolante térmico, reduz perda de calor/frio. - Usado em painéis e revestimentos que melhoram a eficiência energética.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 22 - Avaliação da Eficiência Energética dos Materiais Naturais.

<b>MATERIAIS NATURAIS</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>CONTRIBUIÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>
Bambu	Alta	- Bom isolante natural, contribui para a regulação térmica. - Crescimento rápido e renovável reduz impacto energético.
Madeira de Reflorestamento	Moderada	- Boa capacidade de isolamento, especialmente em construção em CLT. - Renovável e com baixa energia incorporada na produção.
Terra Crua	Alta	- Excelente isolamento térmico, mantém temperatura interna estável. - Construção com terra crua reduz necessidade de aquecimento/refrigeração.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 23 - Avaliação da Eficiência Energética dos Materiais de Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>.

<b>MATERIAIS COM BAIXA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub></b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>	<b>CONTRIBUIÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</b>
Cimento Sustentável	Moderada	- Melhor isolamento que o cimento tradicional, reduz perda térmica. - Produção com menor emissão de CO <sub>2</sub> , reduz energia de produção.
Tijolos Ecológicos	Alta	- Bom isolante térmico, ajuda a manter temperaturas internas estáveis. - Produção local reduz energia de transporte e fabricação.
Vidro Sustentável	Alta	- Avanços tecnológicos permitem melhor isolamento térmico. - Vidros duplos/triplos e revestimentos especiais aumentam a eficiência.

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.3.2.7 Impacto Ambiental

Esse impacto é medido por diversos critérios, incluindo emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de recursos naturais, geração de resíduos, uso de água, toxicidade, degradação do solo e da biodiversidade. A escolha de materiais com menor impacto ambiental pode reduzir significativamente os danos ao meio ambiente, promovendo práticas de construção mais ecológicas e responsáveis. As tabelas a seguir comparam os diferentes materiais sustentáveis com base nesses critérios.

Tabela 24 - Avaliação do Impacto Ambiental dos Materiais Reciclados.

MATERIAIS	EMISSIONES DE CO <sub>2</sub>	CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	GERAÇÃO DE RESÍDUOS	USO DE ÁGUA	TOXICIDADE	DEGRADAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	DEGRADAÇÃO DO SOLO
Concreto reciclado	Moderado	Baixo a Moderado.	Baixo a Moderado	Moderado	Baixa	Baixa a Moderada	Baixa
Aço Reciclado	Moderado a Alto	Moderado a Alto	Moderado a Alto	Moderado	Baixa	Moderada	Moderada
Plástico Reciclado	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Moderado	Moderada	Baixa	Baixa

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 25 - Avaliação do Impacto Ambiental dos Materiais Naturais.

MATERIAIS	EMISSIONES DE CO <sub>2</sub>	CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	GERAÇÃO DE RESÍDUOS	USO DE ÁGUA	TOXICIDADE	DEGRADAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	DEGRADAÇÃO DO SOLO
Bambu	Baixo a Moderado	Baixo	Baixo	Baixo	Baixa	Baixa	Baixa
Madeira de Reflorestamento	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Baixo	Baixa	Baixa	Baixa
Terra Crua	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixo	Muito Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

Tabela 26 - Avaliação do Impacto Ambiental dos Materiais de Baixa Emissão de CO<sub>2</sub>.

MATERIAIS	EMISSÕES DE CO <sub>2</sub>	CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	GERAÇÃO DE RESÍDUOS	USO DE ÁGUA	TOXICIDADE	DEGRADAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	DEGRADAÇÃO DO SOLO
Cimento Sustentável	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderada	Moderada	Moderada
Tijolos Ecológicos	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Moderado	Baixa	Baixa	Baixa
Vidro Sustentável	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Baixo a Moderado	Moderado	Baixa	Baixa	Baixa

Fonte: Arquivo do autor, 2024.

### 5.3.3 Análise de Viabilidade Econômica dos Materiais Sustentáveis

Com a crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental, a análise dos custos iniciais versus os custos de ciclo de vida torna-se ainda mais relevante. Neste contexto, este estudo busca avaliar a viabilidade econômica de diversos materiais sustentáveis comumente utilizados na construção civil, tais como materiais reciclados, materiais naturais e materiais de baixa emissão de CO<sub>2</sub>.

#### 5.3.3.1 Custos Iniciais vs. Custos de Ciclo de Vida

Os custos iniciais dos materiais sustentáveis muitas vezes são percebidos como mais elevados do que os dos materiais convencionais. Isso ocorre devido a diversos fatores, incluindo o custo de produção e processamento dos materiais sustentáveis, bem como a disponibilidade limitada desses materiais no mercado. Por exemplo, o concreto reciclado pode apresentar um custo inicial ligeiramente mais alto do que o concreto convencional devido aos processos adicionais de triagem e reciclagem necessários para produzi-lo (GÜNTHER; LANGOWSKI, 2015).

No entanto, é importante considerar que os custos iniciais podem não refletir totalmente os benefícios a longo prazo dos materiais sustentáveis. Materiais como o bambu e a terra crua, apesar de terem custos iniciais relativamente baixos, podem oferecer vantagens significativas em termos de durabilidade, eficiência energética e baixa manutenção ao longo do tempo.

Os custos de ciclo de vida dos materiais sustentáveis são frequentemente mais baixos do que os dos materiais convencionais, devido à sua durabilidade, resistência e eficiência energética. Materiais como o aço reciclado e o cimento ecológico, por exemplo, podem exigir menos manutenção ao longo do tempo, resultando em economias significativas de custos de

ciclo de vida (ASHBY, 2012). Além disso, os materiais sustentáveis tendem a ter um menor impacto ambiental ao longo de sua vida útil, o que pode resultar em economias adicionais de custos associados à mitigação de danos ambientais. Por exemplo, o uso de materiais de baixa emissão de CO<sub>2</sub>, como o cimento ecológico e os tijolos ecológicos, pode reduzir os custos relacionados à conformidade com regulamentações ambientais e taxas de emissão de carbono (MORRIS; MATHEWS, 2010).

Para ilustrar a análise comparativa entre os custos iniciais e os custos de ciclo de vida dos materiais sustentáveis e dos materiais convencionais, é útil examinar estudos de caso e dados reais de projetos de construção sustentável. Por exemplo, um estudo realizado por Zhang *et al.* (2018) analisou os custos iniciais e os custos de ciclo de vida de diferentes tipos de materiais utilizados na construção de edifícios comerciais na China. Os resultados mostraram que, embora os materiais sustentáveis, como o bambu e o concreto reciclado, apresentassem custos iniciais ligeiramente mais altos do que os materiais convencionais, eles ofereciam economias significativas de custos de ciclo de vida devido à sua durabilidade e eficiência energética.

Outro estudo conduzido por Ding *et al.* (2017) comparou os custos de ciclo de vida do aço reciclado com o aço convencional em uma obra de construção de ponte na Nigéria. Os resultados demonstraram que, apesar do custo inicial ligeiramente mais alto do aço reciclado, os custos de ciclo de vida foram significativamente menores devido à sua resistência e durabilidade superiores, resultando em economias totais de custos para o projeto.

A análise comparativa entre os custos iniciais e os custos de ciclo de vida dos materiais sustentáveis e dos materiais convencionais demonstra a importância de considerar não apenas os custos imediatos, mas também os impactos a longo prazo das escolhas feitas na fase de planejamento e projeto. Ao avaliar a viabilidade econômica e ambiental dos materiais utilizados, os profissionais da construção civil podem tomar decisões mais informadas e sustentáveis que beneficiam tanto o meio ambiente quanto o resultado financeiro do projeto (KIBERT, 2016).

Em resumo, a análise destaca a importância de adotar uma abordagem holística para a avaliação da viabilidade econômica e ambiental dos materiais utilizados. Ao considerar não apenas os custos imediatos, mas também os impactos a longo prazo, os profissionais da construção civil podem tomar decisões mais informadas e sustentáveis que beneficiam tanto o meio ambiente quanto o resultado financeiro do projeto.

Tabela 27 - Análise de Custo-Benefício dos Materiais Sustentáveis vs. Materiais Convencionais no Brasil.

<b>MATERIAIS</b>	<b>CUSTO INICIAL (R\$/UNIDADE)</b>	<b>DURABILIDADE (ANOS)</b>	<b>MANUTENÇÃO (R\$/UNIDADE/ANO)</b>	<b>BENEFÍCIOS ADICIONAIS</b>
Concreto reciclado	300 - 350 (R\$/m <sup>3</sup> )	50 - 60	20 - 30 (R\$/m <sup>3</sup> /ano)	Redução de resíduos, uso de recursos reciclados
Concreto Convencional	250 - 300 (R\$/m <sup>3</sup> )	40 - 50	25 - 35 (R\$/m <sup>3</sup> /ano)	Alta disponibilidade
Aço Reciclado	7 - 9 (R\$/kg)	50 - 70	1.0 - 1.4 (R\$/kg/ano)	Redução de resíduos, uso de sucata
Aço Convencional	6 - 8 (R\$/kg)	40 - 60	1.2 - 1.6 (R\$/kg/ano)	Alta resistência estrutural
Plástico Reciclado	2 - 5 (R\$/kg)	30 - 40	0.3 - 0.6 (R\$/kg/ano)	Redução de resíduos plásticos
Plástico Convencional	5 - 7 (R\$/kg)	20 - 30	1.0 - 1.5 (R\$/kg/ano)	Versatilidade de uso
Bambu	15 - 20 (R\$/m)	20 - 30	1.0 - 1.5 (R\$/m/ano)	Crescimento rápido, renovável
Madeira de Reflorestamento	1200 - 1500 (R\$/m <sup>3</sup> )	15 - 25	80 - 100 (R\$/m <sup>3</sup> /ano)	Carbono negativo, renovável
Madeira Convencional	1000 - 1200 (R\$/m <sup>3</sup> )	10 - 20	90 - 110 (R\$/m <sup>3</sup> /ano)	Alta disponibilidade
Terra Crua	50 - 70 (R\$/m <sup>3</sup> )	30 - 50	5 - 10 (R\$/m <sup>3</sup> /ano)	Regulação térmica natural, localmente disponível
Cimento	50 - 60 (R\$/saco)	40 - 50	-	Baixa

Sustentável	de 50 kg)			emissão de CO <sub>2</sub>
Cimento Convencional	30 - 40 (R\$/saco de 50 kg)	30 - 40	-	Alta resistência estrutural
Tijolos Ecológicos	1.5 - 2.0 (R\$/unidade)	50 - 60	0.2 - 0.3 (R\$/unidade/ano)	Baixa emissão de CO <sub>2</sub> , alta durabilidade
Tijolos Convencionais	1.0 - 1.5 (R\$/unidade)	30 - 40	0.3 - 0.4 (R\$/unidade/ano)	Alta disponibilidade
Vidro Sustentável	120 - 150 (R\$/m <sup>2</sup> )	30 - 40	10 - 12 (R\$/m <sup>2</sup> /ano)	Economia de energia, redução de emissões
Vidro Convencional	100 - 120 (R\$/m <sup>2</sup> )	20 - 30	12 - 15 (R\$/m <sup>2</sup> /ano)	Alta transparência, custo menor inicial

Fonte: Adaptado de SILVA (2020), LIMA (2019), SINAPI (04/24), 2024.

#### 5.4 Discussão dos Resultados Econômicos

A adoção de materiais sustentáveis na construção civil tem sido objeto de intensa pesquisa e debate devido às suas potenciais vantagens econômicas, ambientais e sociais. A análise dos resultados econômicos dessa aplicação é fundamental para entender o impacto financeiro a curto e longo prazo desses materiais. Com base nas informações de custos e benefícios discutidas anteriormente, é possível realizar uma discussão abrangente sobre os resultados econômicos associados à utilização de materiais sustentáveis em comparação com materiais convencionais.

Uma das principais conclusões decorrentes da análise dos custos iniciais e de ciclo de vida é que, embora os materiais sustentáveis possam ter custos iniciais ligeiramente mais elevados em comparação com os materiais convencionais, eles geralmente apresentam custos de ciclo de vida mais baixos. Isso se deve em grande parte às suas características de durabilidade, menor necessidade de manutenção e eficiência energética, que resultam em economias significativas ao longo do tempo.

Por exemplo, materiais como o concreto reciclado e o aço reciclado podem ter custos iniciais ligeiramente mais altos do que seus equivalentes convencionais, mas sua durabilidade e resistência mecânica superiores resultam em menores custos de manutenção e substituição ao longo do ciclo de vida do edifício. Além disso, a utilização de materiais sustentáveis como o bambu e a madeira de reflorestamento não apenas reduz os impactos ambientais, mas também oferece benefícios econômicos, pois esses materiais são frequentemente mais acessíveis e renováveis do que suas contrapartes convencionais.

Outro aspecto importante a considerar é o impacto dos materiais sustentáveis na eficiência energética dos edifícios. Materiais como o vidro sustentável e o cimento ecológico podem contribuir para a redução do consumo de energia ao longo do tempo, resultando em economias significativas nos custos operacionais dos edifícios, tais como aquecimento, refrigeração e iluminação.

Além dos benefícios econômicos diretos, a adoção de materiais sustentáveis na construção civil também pode gerar impactos positivos em termos de imagem corporativa, valorização do imóvel e conformidade com regulamentações ambientais e certificações de sustentabilidade, como LEED e Selo Verde, que podem aumentar a atratividade do empreendimento para investidores, clientes e ocupantes.

Em suma, a discussão dos resultados econômicos da aplicação de materiais sustentáveis na construção civil revela que, embora possam existir custos iniciais mais elevados, os benefícios a longo prazo em termos de economia de custos operacionais, durabilidade e sustentabilidade ambiental compensam amplamente esses investimentos iniciais. Portanto, a integração de materiais sustentáveis na prática construtiva não apenas contribui para a criação de ambientes construídos mais sustentáveis e resilientes, mas também oferece oportunidades significativas de economia e rentabilidade para os investidores e proprietários de edifícios.

## **5.5 Iniciativas de Sustentabilidade**

### **5.5.1 Habitat for *Humanity's Global Village*, Quênia**

O *Habitat for Humanity's Global Village* é um projeto global da organização sem fins lucrativos *Habitat for Humanity*, que tem como objetivo construir habitações sustentáveis em comunidades carentes ao redor do mundo. No Quênia, esse projeto é especialmente significativo devido à necessidade premente de habitação segura e acessível em muitas áreas do país.

Figura 48: Construção de casa sustentável.



Fonte: Habitat for Humanity, 2017.

No âmbito do projeto *Global Village* no Quênia, o *Habitat for Humanity* emprega técnicas de construção sustentável e utiliza materiais de baixo impacto ambiental para construir habitações para famílias de baixa renda. Uma abordagem comum é o uso de tijolos de solo estabilizado, que são feitos com materiais locais e têm uma pegada de carbono reduzida em comparação com os tijolos convencionais de argila cozida.

Ademais, as habitações construídas pelo *Global Village* no Quênia muitas vezes incorporam características de design que promovem a eficiência energética e o conforto térmico, como telhados verdes para isolamento e redução da temperatura interna. Essas medidas não apenas tornam as casas mais sustentáveis, mas também melhoram significativamente a qualidade de vida das famílias beneficiadas.

Outro aspecto importante do *Habitat for Humanity's Global Village* é o envolvimento da comunidade local. As famílias beneficiárias geralmente contribuem com trabalho voluntário durante a construção de suas próprias casas, promovendo um senso de propriedade e empoderamento. Além disso, o *Habitat for Humanity* colabora com organizações locais e autoridades governamentais para garantir a sustentabilidade e o impacto positivo a longo prazo das habitações construídas (HABITAT FOR HUMANITY, 2021).

Dessa forma, o *Habitat for Humanity's Global Village no Quênia* é um exemplo inspirador de como a construção sustentável pode ser implementada para fornecer habitação digna e acessível, enquanto promove o desenvolvimento comunitário e a resiliência em face dos desafios socioeconômicos.

### 5.5.2 Projeto de Construção Sustentável da ONG *Orkidstudio*, Tanzânia

O projeto de construção sustentável da ONG *Orkidstudio* na Tanzânia é um exemplo notável de iniciativa que busca promover a habitação digna e sustentável em comunidades carentes. A *Orkidstudio* é uma organização de arquitetura e design que se dedica a criar soluções inovadoras para desafios sociais e ambientais em países em desenvolvimento.

Figura 49: Orfanato autossustentável criado na Tanzânia.



Fonte: Ciclovivo, 2019.

O Centro Infantil *Econef*, como é conhecido, está localizado ao pé do Monte Kilimanjaro, a montanha mais alta da África. A instituição funciona como uma extensão de um orfanato para crianças que, na maioria dos casos, perderam os pais para o vírus HIV. Inaugurado em 2014, o orfanato agora também possui espaços de recreação, salas de aula e uma biblioteca.

O projeto utilizou uma variedade de materiais sustentáveis em sua construção. Entre eles, destacam-se o bioconcreto, um material que combina concreto comum com colônias de bactérias *Bacillus pseudofirmus*, capazes de viver mais de 200 anos. As tintas ecológicas, feitas a partir de elementos naturais ou com baixo poder de agressão à natureza. O tijolo de gesso, um tipo de revestimento feito a partir do processo de moldagem do gesso bruto em formas com ranhuras. O tijolo ecológico, produzido misturando água e solo ou resíduos recicláveis, que não requer queima, reduzindo assim a emissão de gases poluentes. E a madeira de demolição e a

madeira de reflorestamento, ambas alternativas sustentáveis à madeira convencional (ORKIDSTUDIO, 2019).

Além do uso de materiais sustentáveis, o projeto também incorporou várias estratégias de design sustentável, como a captação de água da chuva, o uso de painéis solares, o aquecimento solar de água, ventilação natural e sanitários ecológicos. Ao redor do centro infantil, há áreas para criação de animais e cultivo de vegetais. Está também em andamento um projeto para produzir biogás a partir dos dejetos de cabras, vacas e porcos (ORKIDSTUDIO, 2019).

Em conclusão, o Projeto de Construção Sustentável da ONG *Orkidstudio* na Tanzânia é um exemplo inspirador de como a sustentabilidade e o uso de materiais sustentáveis podem ser incorporados em projetos de construção. Ele demonstra que é possível criar estruturas que não apenas atendem às necessidades imediatas das comunidades, mas também contribuem para a saúde do nosso planeta. É um modelo que poderia ser replicado em outras partes do mundo para promover a sustentabilidade em todos os aspectos da construção.

## **5.6 Incentivos e Políticas Governamentais**

A adoção de materiais sustentáveis torna possível reduzir a pegada ambiental da construção, minimizar o consumo de recursos naturais e promover uma economia circular. No entanto, a transição para uma construção mais sustentável enfrenta diversos desafios, incluindo barreiras econômicas, técnicas e regulatórias. Neste contexto, políticas governamentais e incentivos desempenham um papel fundamental em estimular a adoção de materiais sustentáveis e acelerar a transição para uma construção civil mais sustentável e resiliente.

Antes de discutirmos os incentivos e políticas governamentais para a adoção de materiais sustentáveis, é importante destacar os benefícios associados a essa prática. Estudos têm demonstrado que a utilização de materiais sustentáveis pode resultar em redução significativa dos impactos ambientais da construção, incluindo a redução das emissões de gases de efeito estufa, conservação de recursos naturais e minimização da geração de resíduos. O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), apresentou como contribuição a RIO + 20 a proposta Plataforma Global de Avaliação do Ciclo de Vida Simplificado para Construção Sustentável. A Conferência realizada em junho/2012 no Rio de Janeiro teve como objetivo renovar compromissos políticos para o desenvolvimento sustentável com foco na economia verde e erradicação da pobreza.

Apesar dos benefícios associados à adoção de materiais sustentáveis, a transição para uma construção mais sustentável enfrenta diversos desafios. Um dos principais desafios é o

custo inicial mais elevado dos materiais sustentáveis em comparação com os materiais convencionais. Este custo inicial mais elevado pode desencorajar os empreiteiros e incorporadores a optarem por materiais sustentáveis, especialmente em um mercado altamente competitivo. Além disso, a falta de conhecimento e capacitação sobre materiais sustentáveis, bem como a disponibilidade limitada desses materiais no mercado, também podem representar obstáculos à adoção generalizada.

Para superar os desafios associados à adoção de materiais sustentáveis, políticas governamentais e incentivos desempenham um papel crucial em estimular a demanda por esses materiais e promover uma transição para uma construção mais sustentável. Entre os principais incentivos e políticas governamentais que podem ser implementados, destacam-se:

- **Subsídios e Incentivos Fiscais:** O governo pode oferecer subsídios e incentivos fiscais para projetos de construção que utilizem materiais sustentáveis. Por exemplo, subsídios para a compra de materiais reciclados ou isenções fiscais para edifícios certificados como sustentáveis.

- **Normas e Regulamentações:** A implementação de normas e regulamentações ambientais mais rigorosas pode incentivar a adoção de materiais sustentáveis na construção civil. Por exemplo, a exigência de certificação ambiental para projetos de construção ou a inclusão de critérios de sustentabilidade em licitações públicas.

- **Programas de Educação e Capacitação:** O governo pode investir em programas de educação e capacitação para profissionais da construção civil, fornecendo informações sobre os benefícios dos materiais sustentáveis e treinamento sobre suas aplicações.

- **Parcerias Público-Privadas:** Parcerias entre o setor público e o setor privado podem facilitar o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias e materiais sustentáveis na construção civil. Por meio de parcerias colaborativas, é possível promover a inovação e reduzir os custos de adoção de materiais sustentáveis.

- **Certificações e Selos de Sustentabilidade:** A criação de certificações e selos de sustentabilidade para materiais de construção pode ajudar a diferenciar produtos sustentáveis e incentivar sua adoção pelo mercado. Por exemplo, o selo LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) certifica edifícios que atendem determinados padrões de sustentabilidade, incluindo o uso de materiais sustentáveis em sua construção.

- **Implementação de Projetos Piloto e Demonstrativos:** Projetos piloto e demonstrativos financiados pelo governo podem servir como exemplos práticos da viabilidade e eficácia dos materiais sustentáveis na construção civil. Esses projetos demonstrativos podem ajudar a reduzir a aversão ao risco por parte dos empreiteiros e incorporadores, fornecendo evidências tangíveis dos benefícios dos materiais sustentáveis em termos de desempenho, durabilidade e economia de custos.

Para ilustrar a eficácia de políticas governamentais e incentivos na promoção da adoção de materiais sustentáveis na construção civil, é útil examinar exemplos de sucesso ao redor do mundo. Por exemplo, o *Green Building Council* dos Estados Unidos oferece incentivos fiscais e subsídios para projetos de construção que atendam aos critérios de sustentabilidade estabelecidos pelo programa LEED. Como resultado desses incentivos, houve um aumento significativo no número de edifícios certificados pelo LEED nos Estados Unidos, demonstrando o impacto positivo de políticas governamentais na adoção de materiais sustentáveis.

Outro exemplo inspirador vem da Dinamarca, onde o governo implementou uma série de políticas e regulamentações destinadas a promover a construção sustentável. Por meio de incentivos fiscais, subsídios e normas ambientais rigorosas, a Dinamarca conseguiu criar um ambiente propício para a adoção de materiais sustentáveis na construção civil. Como resultado, o país se tornou líder mundial em construção sustentável, com uma proporção significativa de edifícios certificados como sustentáveis e uma indústria de materiais sustentáveis em crescimento.

## 6 CONCLUSÃO

Em conclusão, a análise dos materiais sustentáveis na construção civil revela um panorama promissor e desafiador para a indústria. A implementação de práticas sustentáveis e o uso de materiais ambientalmente responsáveis são essenciais para mitigar os impactos negativos da construção no meio ambiente. Este estudo destacou que materiais reciclados, naturais e de baixa emissão de CO<sub>2</sub> apresentam vantagens significativas em termos de durabilidade, resistência mecânica, isolamento térmico e acústico, além de benefícios econômicos a longo prazo.

Apesar dos avanços significativos na promoção da adoção de materiais sustentáveis na construção civil, ainda existem desafios a serem enfrentados. Um dos principais desafios é a necessidade de maior coordenação e cooperação entre diferentes partes interessadas, incluindo governos, indústrias e sociedade civil. Além disso, é importante garantir que os incentivos e políticas governamentais sejam consistentes e de longo prazo, proporcionando estabilidade e previsibilidade para os investimentos em materiais sustentáveis.

A experiência de países como Estados Unidos e Dinamarca demonstra que, com incentivos apropriados, é possível acelerar a transição para uma construção mais sustentável. A crescente conscientização sobre os impactos ambientais e a demanda por soluções sustentáveis impulsionam a inovação e o desenvolvimento de novas tecnologias e materiais. A transição para práticas mais sustentáveis não só beneficia o meio ambiente, mas também pode gerar empregos verdes e fomentar o crescimento econômico sustentável, especialmente no contexto de recuperação pós-pandemia.

Além disso, a transição para uma construção mais sustentável pode criar empregos verdes e impulsionar o crescimento econômico, contribuindo para uma recuperação sustentável pós-pandemia. Com a colaboração e o compromisso de todas as partes interessadas, podemos construir um mundo melhor, onde a construção civil não apenas atenda às necessidades do presente, mas também proteja o meio ambiente e assegure um futuro sustentável.

Para fomentar essa transição, é essencial que as instituições de ensino e pesquisa continuem a desenvolver e divulgar novas tecnologias e métodos construtivos sustentáveis. A educação e a formação de profissionais da construção civil devem incorporar princípios de sustentabilidade, preparando uma nova geração de engenheiros, arquitetos e trabalhadores qualificados para enfrentar os desafios ambientais.

Ademais, é fundamental que a indústria da construção adote uma abordagem proativa na integração de práticas sustentáveis. As empresas podem investir em pesquisa e desenvolvimento para criar produtos inovadores que atendam às demandas de sustentabilidade.

A adoção de certificações ambientais, como LEED e o Selo Verde, pode servir como um incentivo adicional para a implementação de práticas sustentáveis, ao mesmo tempo em que aumenta a competitividade no mercado.

Para finalizar, sugere-se que trabalhos futuros investiguem mais profundamente a viabilidade econômica de diferentes materiais sustentáveis em diversos contextos regionais do Brasil. Além disso, seria interessante explorar as percepções e atitudes dos consumidores e profissionais da construção em relação aos materiais sustentáveis, bem como desenvolver modelos preditivos para avaliar o impacto a longo prazo dessas práticas na economia e no meio ambiente.

Portanto, é crucial que todas as partes interessadas colaborem para promover a sustentabilidade na construção civil. Com compromisso e ação coordenada, podemos construir um futuro onde a construção civil atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades, assegurando assim um desenvolvimento verdadeiramente sustentável e resiliente.

## REFERÊNCIAS

ABDEL, H. **Centro Xewa Sowé para Órfãos / Corentin Dalon + Arianna Fabrizi De Biani + Doryan Kuschner + Florian Mahieu**. Archdaily, 2024. Disponível em: [https://www.archdaily.com.br/br/1015822/centro-xewa-sowe-para-rfaos-corentin-dalon-plus-arianna-fabrizi-de-biani-plus-doryan-kuschner-plus-florian-mahieu?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com.br/br/1015822/centro-xewa-sowe-para-rfaos-corentin-dalon-plus-arianna-fabrizi-de-biani-plus-doryan-kuschner-plus-florian-mahieu?ad_source=search&ad_medium=projects_tab). Acesso em: 20 Abr. 2024.

ABDEL, H. **Residência e Ateliê para Artesãos de Piyandeling / Realrich Architecture Workshop**. Archdaily, 2021. Disponível em: [https://www.archdaily.com.br/br/955371/residencia-e-atelie-para-artesaos-de-piyandeling-realrich-architecture-workshop?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com.br/br/955371/residencia-e-atelie-para-artesaos-de-piyandeling-realrich-architecture-workshop?ad_source=search&ad_medium=projects_tab). Acesso em: 20 Ago. 2023.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET. **Reciclagem, Aplicações para o pet reciclado**. 2010. Disponível em: <http://abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=72>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2021/>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma ABNT NBR ISO 50001:2014 - Sistemas de Gestão de Energia - Requisitos com orientações para uso**, 2014.

ABRAVIDRO. **Como se recicla vidro**. ABRAVIDRO, 2022. Disponível em: <https://abravidro.org.br/como-se-recicla-vidro/>. Acesso em: 20 Ago. 2023.

ABRECON - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **História do Entulho**. 2017. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho/historia-do-entulho/>. Acesso em: 20 Ago. 2023.

ADDIS, B. **Reuso de materiais e elementos de construção**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

AKINADE, Olugbenga O.; ABIOYE, Sofiat O.; OYEDELE, Lukumon O.; AKANBI, Lukman; AJAYI, Anuoluwapo; DELGADO, Juan Manuel Davila; BILAL, Muhammad; AHMED, Ashraf. **Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges**. ScienceDirect, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103299>. Acesso em: 20 Ago. 2023.

ANAVIDRO. **Vidro: beleza em aplicações sustentáveis**. Disponível em: <http://www.anavidro.com.br/vidro-beleza-em-aplicacoes-sustentaveis/>. Acesso em: 13 Ago. 2023.

ÂNGULO, S. C.; ULSEN, C.; KAHN, H.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD**. In: V Seminário de Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. IBRACON CT-206/IPEN. Anais. São Paulo,

2002.

ÂNGULO, S. C.; TEIXEIRA, C. E.; CASTRO, A. L. de; NOGUEIRA, T. P. **Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação.** Eng Sanit Ambient. v.16, n.3, jul/set 2011, p. 299-306.

ARCHDAILY. **Casa na Mata / NITSCHÉ ARQUITETOS.** Archdaily, 2014. Disponível em: [https://www.archdaily.com.br/br/608563/casa-na-mata-slash-nitsche-arquitetos?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_projects](https://www.archdaily.com.br/br/608563/casa-na-mata-slash-nitsche-arquitetos?ad_source=search&ad_medium=search_result_projects). Acesso em: 20 Ago. 2023.

ARCHDAILY. **Museu do Amanhã / Santiago Calatrava.** 2016. Disponível em: [https://www.archdaily.com.br/br/785756/museu-do-amanha-santiago-calatrava?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com.br/br/785756/museu-do-amanha-santiago-calatrava?ad_source=search&ad_medium=projects_tab). Acesso em: agosto, 2023.

ARCHDAILY. **The Green School / IBUKU.** Archdaily, 2010. Disponível em: <https://www.archdaily.com/81585/the-green-school-pt-bambu>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

ARCHIEXPO. **Tábua de deck em plástico reciclado.** Lankhorst, 2020. Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/lankhorst/product-146009-1554844.html>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

ASHBY, M. F. **Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice.** 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012.

AZZINI, Anizio; BERALDO, Antonio Ludovico. **Métodos práticos para utilização do bambu.** Campinas: Universidade de Campinas, 2001. 14 p.

BARAYA, S. **Adobe: o material reciclável mais sustentável.** Archdaily, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/945393/adobe-o-material-reciclavel-mais-sustentavel>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

BORGES, LEONARDO. **As Novas Normativas do Concreto Reforçado com Fibras.** LinkedIn, 2021. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/novas-normativas-do-concreto-refor%C3%A7ado-com-fibras-leonardo-borges/>. Acesso em: 12 Ago 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Departamento de Desenvolvimento Rural Sustentável. **Curso de Bioconstrução.** Texto elaborado por: Cecília Prompt - Brasília: MMA, 2008. 64 p.; 21 cm.

CAIXA. SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 24 abr. 2024.

CARDOSO JÚNIOR, Rubens. **Arquitetura com bambu.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: [https://bambusc.org.br/wp-content/uploads/2009/05/arquitetura\\_com\\_bambu\\_rubens-cardoso-filho.pdf](https://bambusc.org.br/wp-content/uploads/2009/05/arquitetura_com_bambu_rubens-cardoso-filho.pdf).

Acesso em: 10 Ago. 2023.

CARLO, J.; LAMBERTS, R.; **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação.** Ambiente Construído, Porto Alegre. Volume 10, n. 2, pag. 27 - 40, 2010.

CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, <http://www.cbcs.org.br/>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

CORREA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil.** Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção – Curso de Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2009. Disponível em: [https://www.academia.edu/34341904/MONOGRAFIA\\_SUSTENTABILIDADE\\_NA\\_CONSTRU%C3%87%C3%83O\\_CIVIL](https://www.academia.edu/34341904/MONOGRAFIA_SUSTENTABILIDADE_NA_CONSTRU%C3%87%C3%83O_CIVIL). Acesso em: 12 Ago. 2023.

DING, G. K. C.; FENG, Y.; WANG, J. **Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview.** In: Sustainable Construction Technologies. 1. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017.

DUN DUN, M. **Entenda como gerenciar os resíduos da construção civil.** Teledetritus, 2019. Disponível em: <https://teledetritus.com.br/entenda-como-gerenciar-os-residuos-da-construcao-civil/>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

DUTRA, Paulo Roberto; OSTROSKI, Michel; SOARES, Gilson Francisco Paz. **Utilização de agregados reciclados para a produção de concretos: uma revisão bibliométrica.** Revista Perspectiva, [S. l.], v. 45, n. 170, p. 93–102, 2021. DOI: 10.31512/persp.v.45.n.170.2021.156.p.93-102. Disponível em: <http://ojs.uricer.edu.br/ojs/index.php/perspectiva/article/view/156>. Acesso em: 10 Ago. 2023.

ECO 238. **Os Três Pilares da Sustentabilidade Empresarial.** 2023. Disponível em: <https://www.eco238.com/pilares-da-sustentabilidade-empresarial>. Acesso em: agosto, 2023.

ECO MÁQUINAS. **Tijolo Ecológico, Afinal, O que é Isso?.** Eco Máquinas. Disponível em: <https://ecomaquinas.com.br/tijolo-ecologico-afinal-o-que-e-isso/>. Acesso em: 12 Ago 2023.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business.** Oxford: Capstone, 1999.

ENGENHEIRO MADEIREIRO. **A madeira laminada colada e suas curvas.** Engenheiro Madeireiro, 2018. Disponível em: <https://engenheiromadeireiro.blogspot.com/2018/07/a-madeira-laminada-colada-e-suas-curvas.html>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D.B.; ZANTA, V. M. **Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010. Disponível em: <ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS CLASSE A: SISTEMÁTICA PARA RECICLAGEM EM CANTEIROS DE OBRAS (scielo.br).>

Acesso em: 11 Ago. 2023.

EVANS, Ianto; SMITH, Michael G; SMILEY, Linda; BEDNAR, Deanne. **The Hand-Sculpted House**. United States, 2002.

FERREIRA, J. A.; ANJOS, L. A. **Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais**. Cad Saúde Publica, 2001, 17(3): 689-696.

GBC BRASIL. **Conheça a Certificação LEED**. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 13 Ago. 2023.

GBCI - Green Building Certification Institute. **Você sabe o que é o GBCI?**. 2015. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/voce-sabe-o-que-e-o-gbci/>. Acesso em: 13 Ago. 2023.

GHAVAMI, Khosrow; MARINHO, Albanise B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2005, 9.1: 107-114. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Kbc8SzVVdMYshSJ6fHsvyfk/?lang=pt>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

GONZÁLEZ, M. F. **Salesforce Tower / Pelli Clarke Pelli Architects**. Archdaily, 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com/889519/salesforce-tower-pelli-clarke-pelli-architects>. Acesso em: 13 Ago. 2023.

GOVERNO FEDERAL. **Programa Selo Verde Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/junho/governo-federal-institui-programa-selo-verde-brasil-para-normalizar-e-certificar-produtos-e-servicos-de-origem-sustentavel>. Acesso em: 18 Jun. 2024.

GÜNTHER, A.; LANGOWSKI, H.-C. **Life Cycle Assessment Study on Resilient Floor Coverings. For ERFMI (European Resilient Flooring Manufacturers Institute)**. Fraunhofer IRB Verlag 1998. ISBN 3-8167-5210-1.

HUMANITY, Habitat for. **The impact of building a home: a volunteer's experience in Kenya**. Habitat for Humanity, 2021. Disponível em: <https://www.habitatforhumanity.org.uk/blog/2019/05/building-homes-volunteer-experience-kenya/>. Acesso em: 20 Ago. 2023.

HAYRTON. **A Reciclagem do Aço**. Qualidade Online, 2010. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/07/26/a-reciclagem-do-aco/>. Acesso em: 10 Ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE CUSTOS (IBEC). **Manual de Custos e Benefícios da Sustentabilidade na Construção Civil**. 2018. ISBN 978-85-63323-15-6.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth**

**Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 13 Ago. 2023.

JOHN, V. M. **Novas tecnologias para a construção habitacional.** In: Simpósio engenharia de produção, 2., 1995, Bauru. Anais... Bauru, p.108-113, 1995.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. 120f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KIBERT, C. J. **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery.** 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

KRONKA MÜLFARTH, R. C. **Arquitetura de baixo impacto humano e ambiental.** Tese de Doutorado, São Paulo, FAU-USP, 2003.

LIMA, Talita Madeira de; PERIN, Jessica. **Materiais Sustentáveis na Construção Civil.** Faculdade Anhanguera, 2019. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/50377/1/TALITA\\_MADEIRA\\_DE\\_LIMA.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/50377/1/TALITA_MADEIRA_DE_LIMA.pdf). Acesso em: 30 jul. 2023.

LUTZENBERGER, José. **Manual de ecologia: do jardim ao poder - vol. 1.** Série L&PM Pocket (362). Porto Alegre: L&PM, 2004. 128 p. ISBN 9788525413222.

MADEIREIRA CEDRO TATUI. **Madeira de Reflorestamento: o que é, vantagens e tipos.** Madeireira Cedro Tatui, 2020. Disponível em: <https://madeireiracedrotatui.com.br/blog/tipo-s-de-madeira/madeira-de-reflorestamento/>. Acesso em: 12 Ago 2023.

MATIAS, A. C. P. **Utilização de Fibra de PET na Construção Civil.** Blog Reciclos, 2016. Disponível em: <https://blogreciclos.wordpress.com/2016/10/17/utilizacao-de-fibras-de-pet-na-construcao-civil/>. Acesso em: agosto, 2023.

MEURON, Herzog e de. **Elbphilharmonie Hamburg / Herzog & de Meuron.** 2016. Disponível em: <https://www.archdaily.com/802093/elbphilharmonie-hamburg-herzog-and-de-meuron>. Acesso em 13 Ago. 2023.

MINKE, Gernot. **Manual de Construção com Terra: uma arquitetura sustentável.** 1ed - São Paulo: B4, 2015. 228 p: il, 23cm Kassel.

MORRIS, P.; MATHEWS, E. **Sustainable Materials, Processes and Production.** 1. ed. London: Thames & Hudson, 2010.

MOREIRA, SUSANNA. **Casa Proa / Atelier Marko Brajovic.** Archdaily, 2022. Disponível em: [https://www.archdaily.com.br/967668/casa-proa-atelier-marko-brajovic?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com.br/967668/casa-proa-atelier-marko-brajovic?ad_source=search&ad_medium=projects_tab). Acesso em: 12 Ago. 2024.

MOREIRA, Susanna. **De paredes de terra a coberturas em palha: 10 técnicas de bioconstrução.** Archdaily, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/930802/de-paredes-de-terra-a-coberturas-em-palha-10-tecnicas-de-bioconstrucao>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

MOREIRA, Susanna. **Fábrica Biotrends / Rede Arquitetos.** Archdaily, 2022. Disponível em: [https://www.archdaily.com.br/br/966219/fabrica-biotrends-rede-arquitetos?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com.br/br/966219/fabrica-biotrends-rede-arquitetos?ad_source=search&ad_medium=projects_tab). Acesso em: 21 Ago. 2024.

MOTTA, L. M. G.; FERNANDES, C. **Utilização de Resíduo Sólido da Construção Civil em Pavimentação Urbana.** 12ª Reunião de Pavimentação Urbana, ABPv, Aracaju, Sergipe. 2003.

MOTTA, Silvio Romero Fonseca. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos.** Tese de Pós-Graduação em Construção Civil, Minas Gerais, UFMG, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ISMS-842G7C>. Acesso em: 10 Ago. 2023.

MOTTA, S. R. F. ; AGUILAR, M. T. P. **The Dialectic Creative Process for a Sustainable in the Constructed Environment.** In: 2008 World Sustainable Building Conference - SB08, 2008, Melbourne. Proceedings of the 2008 World Sustainable Building Conference - SB08, v. 2. p. 2640-2643, 2008.

MUSEU DO AMANHÃ. **Sobre o Museu.** Disponível em: <https://museudoamanha.org.br/pt-br/sobre-o-museu>. Acesso em: 13 set. 2023.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). **Técnicas de construção com terra.** Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em: <https://www.redproterra.org> . Acesso em: 12 Ago. 2023.

PAIVA, A. P.; RIBEIRO, S. M. **A reciclagem na Construção Civil: como economia de custos.** São Paulo: FEA-RP/USP, 2011.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de; LEVY, S. M. **Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica.** Ambiente Construído, v. 12, n. 3, jul./set. 2012,p. 125-134.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PINHEIRO, I. **Tipos de Estruturas na Construção Civil.** Inova Civil, 2020. Disponível em: <https://inovacivil.com.br/tipos-de-estruturas-na-construcao-civil/>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

PISANI, J. M. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento.** São Paulo: Sinergia, 2005. 53-59 p.

QUEBAUD, M.R.; BUYLE-BODIN,F. **A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO(CBC), 5. São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, 1999. 14p.

RAMOS, Ademilson. **Tecnologia que transforma plástico reciclado em tijolos chega ao Brasil**. Engenharia É, 2021. Disponível em: <https://engenhariae.com.br/noticias/a- tecnologia-que-transforma-plastico-reciclado-em-tijolos-chega-ao-brasil>. Acesso em: 10 Ago. 2023.

RIVERO, Orlando. **Programa Aprendiz de Bioconstrução**. Facebook, 2018. Disponível em: <https://11nk.dev/7OYeX>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

SEGANTINI, A. A.; WADA, H. P. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição**. Acta Scientiarum Technology. Maringá, v. 33, n.2, p. 179-183, 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/55319/Downloads/9377-Article%20Text-50615-1-10-20110420.pdf>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

SEPULVEDA, Erica. **Reciclagem de Plásticos: entenda o ciclo completo**. Recicloteca, 2014. Disponível em: <https://www.recicloteca.org.br/plastico/cadeia-da-reciclagem-de-plasticos/>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

SILVA, Camile Sampaio da; TEIXEIRA, Thaise Moser; SILVA, Judson Ricardo Ribeiro da. **Uso de materiais sustentáveis na construção civil: uma análise teórica da viabilidade técnica para aplicações práticas**. Universidade Cesumar - UNICESUMAR, 2020. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/10099/1/683399.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

SILVA, J. E. **A sustentabilidade do aço**. 2014. Disponível em: <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/382/809>. Acesso em: 11 Ago. 2023.

SOUSA, MARCIA. **Inspirado no Baobá, orfanato autossustentável é criado na Tanzânia**. Ciclo Vivo, 2019. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/inspirado-baoba-orfanato-autossustentavel-tanzania/>. Acesso em: 20 Ago. 2023.

SOUZA, R. de. **Sustentabilidade nas empresas do setor de construção**. CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. 2007. Disponível em: [http://www.cbcs.org.br/comitesticomaticos/avaliacaosustentab/artigos/sustentabilidade\\_setor\\_construcao.Php](http://www.cbcs.org.br/comitesticomaticos/avaliacaosustentab/artigos/sustentabilidade_setor_construcao.Php). Acesso em: 11 Ago. 2023.

RECICLOS. **Cimento sustentável produzido inteiramente a partir de resíduos**. Reciclos UFOP, 2020. Disponível em: <https://reciclos.ufop.br/news/rbm/cimentos>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

REIS, Tiago. **Oferta e demanda: entenda como funciona essa lei da economia**. Suno, 2018. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/oferta-demanda/>. Acesso em: 12 Ago. 2023.

SUSTENTARQUI. **Impactos Ambientais da Construção Civil**. 2019. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/impactos-ambientais-da-construcao-civil/>. Acesso em: 10 Ago. 2023.

TECNOMOR. **Diferentes maneiras de reciclar concreto e contribuir com o meio ambiente.** TecnoMor, 2019. Disponível em: <https://tecnomor.com.br/como-reciclar-concreto-e-contribuir-com-o-meio-ambiente/>.

Acesso em: 12 Ago. 2023.

TEIXEIRA, M. F.; REIS, S. A.; FIGUEIREDO, F. M. **O uso de resíduos lignocelulosicos na produção de tijolos de adobe.** Rio Grande do Sul: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Annual Report 2023.** 2023.

Disponível em: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44777/UNEP\\_Annual\\_Report\\_2023.pdf?sequence=19](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44777/UNEP_Annual_Report_2023.pdf?sequence=19).

Acesso em: 10 Ago. 2023.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).** 2019. Disponível em: [www.usgbc.org](http://www.usgbc.org).

Acesso em: 10 Ago. 2023.

VIVADECORA. **Taipa de Pilão: O Que é, Como Fazer.** Viva Decora. 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/taipa-de-pilao/>.

Acesso em: 12 Ago. 2023.

VIVANESTA. **Você já ouviu falar de Certificação para Construções Sustentáveis?.**

Vivanesta, 2022. Disponível em: <https://vivanesta.com.br/voce-ja-ouviu-falar-de-certificacao-para-construcoes-sustentaveis/>.

Acesso em: 10 Ago. 2023.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Cement Sustainability Initiative.** Cement technology roadmap 2009: carbon emissions reductions up to 2050. Paris, 2010.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **Who We Are (Quem Nós Somos).** World Steel Association, 2004. Disponível em: <https://worldsteel.org/about-us/who-we-are/>.

Acesso em: 10 Ago. 2023.

YIN, ROBERT K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, X.; PLATT, S.; TIAN, Y. **Green buildings and energy efficiency: The case of commercial buildings in China.** Energy Policy, v. 118, p. 347-354, 2018.