

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

Lucas Lopes Pedrosa

**MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE  
COMPARATIVA E SUAS CONTRIBUIÇÕES AMBIENTAIS**

Piumhi – MG

2025

LUCAS LOPES PEDROSA

**MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE  
COMPARATIVA E SUAS CONTRIBUIÇÕES AMBIENTAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso Bacharelado em Engenharia Civil do  
Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus*  
Avançado Piumhi para obtenção do grau de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Esp. Jéssica Marcelle Corradi  
Diniz Gonçalves Martins

Piumhi - MG

2025

---

P372m Pedrosa, Lucas Lopes.

Materiais sustentáveis na construção civil: análise comparativa e suas contribuições ambientais [manuscrito] / Lucas Lopes Pedrosa. – 2025.  
63 f. : il. color.

Orientadora: Jéssia Marcelle Corradi Diniz Gonçalves Martins.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi, 2025.

1. Construção sustentável. 2. Materiais de construção – aspectos ecológicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Martins, Jéssia Marcelle Corradi Diniz Gonçalves. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi. III. Título.

CDD 691

---

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

Lucas Lopes Pedrosa

**MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE COMPARATIVA  
E SUAS CONTRIBUIÇÕES AMBIENTAIS**

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 08 de julho de 2025 pela banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Jéssica Marcelle Corradi Diniz Gonçalves Martins, Professora Substituta**, em 09/07/2025, às 18:06, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes, Professora**, em 09/07/2025, às 18:35, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Natália Ramos Alvarenga, Fiscal de Contrato Substituto(a)**, em 10/07/2025, às 15:52, 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 **2367365** e o código CRC **1E927160**.

23715.000585/2024-92

2013897v1

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me sustentado e guiado até aqui.

Agradeço também a minha orientadora, pela prestatividade e orientação para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A construção civil é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais e gera impactos ambientais. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar o uso de materiais sustentáveis na construção civil, destacando suas vantagens técnicas, ambientais, sociais e econômicas. A pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos de sustentabilidade, certificações ambientais e critérios para a escolha de materiais sustentáveis. Em seguida, são analisados quatro materiais: concreto reciclado, tijolo solo-cimento, bambu e aço reciclado, comparando-se seu desempenho técnico, durabilidade, custo, emissões de CO<sub>2</sub> e impacto ambiental em relação aos materiais convencionais. A análise também inclui exemplos de edificações brasileiras que adotaram esses materiais, como o Museu do Amanhã (RJ), o Pavilhão de Bambu (RJ) e a Casa MP (SP), reforçando a viabilidade e os benefícios dessas soluções. O estudo evidencia que, apesar dos avanços e do cenário promissor, ainda existem desafios a serem enfrentados, como o alto custo inicial, o desconhecimento técnico do mercado e a necessidade de políticas públicas e incentivos que ampliem o acesso e a adoção de práticas construtivas mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** construção sustentável; materiais de construção – aspectos ecológicos; desenvolvimento sustentável.

## **ABSTRACT**

The construction industry is one of the human activities that consumes the most natural resources and generates significant environmental impacts. In this context, the aim of this study is to analyze the use of sustainable materials in civil construction, highlighting their technical, environmental, social, and economic advantages. The research presents a literature review on the main concepts of sustainability, environmental certifications, and criteria for selecting sustainable materials. It then analyzes four materials: recycled concrete, soil-cement brick, bamboo, and recycled steel comparing their technical performance, durability, cost, CO<sub>2</sub> emissions, and environmental impact in relation to conventional materials. The analysis also includes examples of Brazilian buildings that have adopted these materials, such as the Museum of Tomorrow (RJ), Bamboo Pavilion (RJ), and Home MP (SP), reinforcing the feasibility and benefits of these solutions. The study shows that, despite progress and a promising outlook, there are still challenges to be addressed, such as high initial costs, lack of market knowledge, and the need for public policies and incentives to expand access to and adoption of more sustainable construction practices.

**Keywords:** sustainable construction; building materials – ecological aspects; sustainable development.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Madeira plástica utilizada em deck.....	25
Figura 2 – Ciclo de produção do vidro reciclado.....	26
Figura 3 – Construção com uso de bambu.....	28
Figura 4 – Formação artesanal de blocos de adobe .....	29
Figura 5 – Edificação com a utilização de adobe .....	30
Figura 6 – Tijolos ecológicos.....	34
Figura 7 – Piso de cortiça.....	37
Figura 8 – Edifício LLUM Batel .....	50
Figura 9 – Museu do Amanhã.....	51
Figura 10 – Casa MP .....	52
Figura 11 – Pavilhão de bambu desdobrável .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias ambientais avaliadas pela certificação AQUA-HQE .....	18
Tabela 2 – Categorias de avaliação da certificação LEED v4 (Novas Construções).	19
Tabela 3 – Categorias de avaliação da certificação BREEAM.....	20
Tabela 4 – Categorias de avaliação da Certificação Casa Azul.....	21
Tabela 5 – Comparativo entre concreto convencional e concreto com agregado reciclado.....	24
Tabela 6 – Comparativo entre o Cimento Portland Convencional e o Cimento de Baixo Carbono .....	33
Tabela 7 – Comparativo entre o Aço Convencional e o Aço Reciclado .....	36
Tabela 8 – Vantagens e desafios dos principais materiais sustentáveis na construção civil .....	40
Tabela 9 – Critérios de avaliação de materiais.....	45
Tabela 10 – Concreto reciclado vs. Concreto convencional.....	46
Tabela 11 – Tijolo ecológico vs. Tijolo cerâmico convencional .....	47
Tabela 12 – Bambu vs. Madeira .....	48
Tabela 13 – Aço reciclado vs. Aço virgem.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
FEA	Forno Elétrico a Arco
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
GEE	Gases de efeito estufa
LC <sup>3</sup>	<i>Limestone Calcined Clay Cement</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SESC	Serviço Social do Comércio
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>
WPC	<i>Wood Plastic Composite</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	12
1.1.2	Objetivos Específicos .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1	CONSTRUÇÃO CIVIL E IMPACTOS AMBIENTAIS .....	13
2.2	SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	14
2.2.1	Sustentabilidade na construção civil brasileira .....	16
2.2.2	Educação e conscientização sobre sustentabilidade .....	16
2.3	CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	17
2.3.1	Certificação AQUA-HQE .....	17
2.3.2	Certificação LEED .....	19
2.3.3	Certificação BREEAM .....	20
2.3.4	Certificação Casa Azul .....	21
2.3.5	Benefícios das certificações ambientais .....	22
2.3.6	Desafios para a implantação das certificações no Brasil .....	22
2.4	TIPOS DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	23
2.4.1	Materiais reciclados.....	23
2.4.1.1	Concreto reciclado .....	23
2.4.1.2	Madeira plástica .....	24
2.4.1.3	Vidro reciclado.....	26
2.4.2	Materiais naturais .....	27
2.4.2.1	Bambu .....	27
2.4.2.2	Adobe .....	29
2.4.2.3	Palha e fibras vegetais .....	31
2.4.3	Materiais de baixa emissão de CO <sub>2</sub> .....	32
2.4.3.1	Cimento de baixo carbono .....	32
2.4.3.2	Tijolos ecológicos .....	33
2.4.3.3	Aço reciclado .....	35
2.4.4	Materiais biodegradáveis .....	36
2.4.4.1	Pisos e revestimentos de cortiça .....	36
2.4.4.2	Tinta ecológica .....	38
2.4.5	Vantagens e desafios do uso de materiais sustentáveis.....	39

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>43</b>
4.1	CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	43
4.2	ANÁLISE COMPARATIVA DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS.....	45
4.2.1	Concreto reciclado .....	45
4.2.2	Tijolo ecológico.....	46
4.2.3	Bambu .....	47
4.2.4	Aço reciclado.....	48
4.3	EXEMPLOS DE EDIFICAÇÕES QUE UTILIZARAM MATERIAIS SUSTENTÁVEIS .....	49
4.3.1	Edifício LLum Batel, Curitiba – PR.....	49
4.3.2	Museu do Amanhã, Rio de Janeiro – RJ .....	50
4.3.3	Casa MP, Cabreúva – SP .....	52
4.3.4	Pavilhão de bambu desdobrável, Paraty – RJ.....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores de maior impacto ambiental no mundo, sendo responsável por até 50% do consumo global de recursos naturais e por aproximadamente 55% da massa de resíduos sólidos urbanos (TESSARO; MATHIES; TRINDADE, 2024). Além disso, o setor contribui significativamente para a emissão de gases do efeito estufa (GEE), principalmente devido ao elevado consumo de cimento e ao uso intensivo de energia em processos produtivos (BRASIL, 2010).

Diante desse cenário, a busca por práticas sustentáveis na construção civil tem se tornado essencial para minimizar seus impactos e promover um desenvolvimento ambientalmente responsável. O conceito de construção sustentável baseia-se na utilização de materiais e técnicas que reduzam a extração de recursos naturais, promovam maior eficiência energética e diminuam a geração de resíduos (CBIC, 2017).

Nesse contexto, o uso de materiais sustentáveis surge como uma alternativa viável para a construção civil, pois possibilita a redução de impactos ambientais, melhora o desempenho energético das edificações e contribui para a economia circular, reaproveitando resíduos industriais e urbanos na produção de novos insumos (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A escolha de materiais de baixo impacto ambiental tem sido incentivada por meio de certificações ambientais, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental), BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) e CASA AZUL (GRUNBERG; MEDEIROS; TAVARES, 2017). Essas certificações estabelecem critérios rigorosos para avaliar o desempenho sustentável das edificações, considerando aspectos como eficiência no uso de água e energia, gestão de resíduos e impacto ambiental dos materiais utilizados.

Diante desse contexto, a presente pesquisa busca analisar a importância da utilização de materiais sustentáveis na construção civil, investigando suas vantagens ambientais, econômicas e sociais. A escolha do tema se justifica pela necessidade urgente de reduzir os impactos ambientais do setor e incentivar o uso de práticas construtivas mais responsáveis. Além disso, estudos demonstram que edificações sustentáveis apresentam melhor desempenho térmico e menor custo

operacional, reforçando a viabilidade econômica do uso de materiais ecológicos na construção civil (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A relevância deste estudo também se relaciona com a crescente adoção de políticas públicas voltadas à sustentabilidade na construção civil no Brasil. Programas como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) estabelecem diretrizes para a gestão eficiente de resíduos e a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no setor (BRASIL, 2019). Dessa forma, compreender os critérios para escolha de materiais sustentáveis e analisar sua aplicação em edificações torna-se fundamental para impulsionar o desenvolvimento sustentável na construção civil brasileira.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo principal analisar a importância da utilização de materiais sustentáveis na construção civil, considerando seus impactos ambientais, econômicos e sociais. A pesquisa busca compreender como a escolha adequada de materiais podem contribuir para a redução da degradação ambiental causado pelas edificações e promover a ações de práticas construtivas mais sustentáveis.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral, este estudo propõe os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os principais impactos ambientais dos materiais convencionais na construção civil;
- Apresentar os conceitos de sustentabilidade e certificações ambientais;
- Classificar os diferentes tipos de materiais sustentáveis utilizados no setor;
- Comparar materiais sustentáveis e convencionais quanto a características técnicas, custo e impacto ambiental;
- Analisar casos de edificações que adotaram materiais sustentáveis na construção.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Construção civil e impactos ambientais

A construção civil é uma das atividades econômicas que mais impactam o meio ambiente, tanto pelo consumo excessivo de recursos naturais quanto pela grande quantidade de resíduos gerados. De acordo com a Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU MEIO AMBIENTE, 2022), o setor da construção é responsável por aproximadamente 38% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), além de consumir cerca de 50% dos recursos naturais extraídos mundialmente.

Um dos principais fatores que contribuem para o impacto ambiental da construção civil é a produção de cimento, material essencial para o concreto, amplamente utilizado na construção de edificações e infraestrutura. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2021), a fabricação do cimento responde por 7% a 8% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, sendo uma das maiores fontes de gases de efeito estufa da indústria.

O uso de aço também contribui significativamente para as emissões, já que sua produção exige um elevado consumo de energia e a queima de combustíveis fósseis, aumentando ainda mais a pegada de carbono das obras de construção (BRASIL, 2010).

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2020), a extração de areia, também essencial para a produção de concreto, tem causado desequilíbrios ecológicos, principalmente em rios e áreas costeiras, resultando em problemas como assoreamento e alteração dos habitats aquáticos.

Além da alta emissão de poluentes, o setor também se destaca pela significativa geração de resíduos sólidos. No Brasil, os resíduos da construção civil (RCC) correspondem a 50% a 70% dos resíduos sólidos urbanos, conforme relatado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2021). Grande parte desses resíduos poderiam ser reciclados ou reutilizados, reduzindo a necessidade de extração de novos materiais e diminuindo os impactos ambientais. No entanto, a taxa de reciclagem desses resíduos ainda é baixa, devido a desafios como falta de infraestrutura e incentivos econômicos.

Estudos realizados pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE, 2020) apontam que mais de 60% dos resíduos de construção são provenientes de

demolições, destacando o potencial de reaproveitamento desses materiais. A reciclagem de concreto, por exemplo, pode reduzir a necessidade de extração de novos recursos naturais, além de diminuir as emissões de gases de efeito estufa associadas à fabricação de novos materiais.

Outro fator relevante está relacionado ao uso excessivo de água e energia. A construção civil consome aproximadamente 21% da água potável disponível no planeta e grande parte desse consumo ocorre sem um planejamento eficiente para reutilização ou aproveitamento de águas pluviais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 2020). Além disso, a energia empregada nos processos de extração, transporte e transformação de materiais também contribui para impactos ambientais significativos.

Para mitigar os impactos ambientais da construção civil, diversas alternativas têm sido adotadas. A eficiência energética na produção de materiais e na execução das obras é uma das principais estratégias para reduzir as emissões e o consumo de recursos. A utilização de materiais sustentáveis, como madeira certificada, tijolos ecológicos e cimento verde, tem se mostrado promissora no desenvolvimento de projetos mais sustentáveis. Além disso, a reciclagem de resíduos da construção, como concreto e tijolos, pode diminuir a demanda por novos materiais e reduzir os resíduos gerados (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, torna-se fundamental a adoção de práticas sustentáveis na construção civil, como uso de materiais recicláveis, eficiência energética, reutilização de água e redução de resíduos. Estratégias como análise do ciclo de vida dos materiais, certificações ambientais e incentivos à economia circular são algumas das medidas que podem minimizar os danos ambientais do setor e contribuir para um desenvolvimento mais sustentável (KFOURI, 2018).

## **2.2 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável**

A preocupação com o meio ambiente e o uso racional dos recursos naturais tornou-se um tema central nas discussões globais, especialmente a partir da segunda metade do século XX. O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu oficialmente no Relatório Brundtland (1987), publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que definiu o termo como a capacidade de suprir as necessidades das gerações atuais sem comprometer os recursos das futuras

gerações (BRUNDTLAND, 1987). No Brasil, esse conceito tem sido amplamente discutido, especialmente no setor da construção civil, que é um dos principais responsáveis pelos impactos ambientais.

O desenvolvimento sustentável é sustentado por três pilares interdependentes: ambiental, social e econômico. Esses pilares são fundamentais para avaliar o impacto das atividades humanas e definir estratégias de crescimento equilibrado.

- **Sustentabilidade Ambiental:** Segundo Barbieri (2019), a sustentabilidade ambiental diz respeito à preservação dos ecossistemas e à redução dos impactos ambientais das atividades humanas.

- **Sustentabilidade Social:** Relaciona-se à qualidade de vida, justiça social e inclusão, assegurando que o desenvolvimento beneficie toda a sociedade. No Brasil, políticas como o Programa Minha Casa Minha Vida Sustentável incentivam habitações acessíveis e ambientalmente responsáveis (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021).

De acordo com Barbieri (2019), a sustentabilidade social envolve a garantia de qualidade de vida, justiça social e acesso equitativo aos recursos naturais e bens produzidos.

- **Sustentabilidade Econômica:** Busca garantir o crescimento econômico sem comprometer o meio ambiente, promovendo inovação e eficiência produtiva. No setor da construção civil, iniciativas como a Certificação AQUA-HQE incentivam práticas sustentáveis que reduzem custos operacionais e melhoram a eficiência energética das edificações (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

Conforme Barbieri (2019) a sustentabilidade econômica se relaciona à viabilidade financeira das ações sustentáveis, garantindo que práticas ambientalmente responsáveis também sejam economicamente viáveis.

A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, estabelecem metas globais para promover um modelo de crescimento mais equilibrado e sustentável. O Brasil, como signatário desse compromisso, tem implementado diversas políticas públicas para incentivar práticas sustentáveis nos setores industrial, agrícola e da construção civil (BRASIL, 2018).

### **2.2.1 Sustentabilidade na construção civil brasileira**

No contexto da construção civil, a sustentabilidade envolve práticas como a utilização de materiais ecológicos, eficiência energética, reaproveitamento de resíduos e redução da emissão de gases de efeito estufa. A adoção de técnicas sustentáveis na construção pode reduzir significativamente os impactos ambientais, diminuindo o consumo de água e energia em até 40% em edificações certificadas (GBC BRASIL, 2017).

O Brasil tem avançado na adoção de certificações ambientais, como o AQUA-HQE, LEED e o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal, que estabelecem critérios para construções sustentáveis e incentivam o uso de tecnologias menos agressivas ao meio ambiente (COTS, 2024).

Outro aspecto relevante é a gestão de resíduos da construção civil (RCC). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) determina que empresas e municípios adotem planos para o gerenciamento e reaproveitamento dos resíduos da construção, minimizando os impactos ambientais. Estudos indicam que até 90% dos resíduos gerados podem ser reutilizados em novas obras, reduzindo a demanda por matéria-prima virgem (MATUTI; SANTANA, 2019).

### **2.2.2 Educação e conscientização sobre sustentabilidade**

A educação ambiental tem um papel fundamental na difusão do conceito de sustentabilidade. Segundo Oliveira (2020), é essencial que profissionais da construção civil recebam capacitação sobre práticas sustentáveis e que a população seja incentivada a adotar hábitos mais responsáveis em relação ao consumo de recursos naturais. No Brasil, programas como o Construção Sustentável e iniciativas de universidades federais têm promovido estudos e projetos voltados para a

sustentabilidade urbana e o desenvolvimento sustentável (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. [s.d.]).

Desta forma, percebe-se que a sustentabilidade é um conceito essencial para garantir a preservação ambiental, o desenvolvimento econômico e a justiça social. No setor da construção civil, práticas sustentáveis vêm sendo cada vez mais incorporadas, mas ainda há desafios na implementação em larga escala. Políticas públicas eficazes, incentivo à inovação e maior conscientização da sociedade são fundamentais para que o Brasil avance em direção a um modelo de desenvolvimento mais sustentável.

## **2.3 Certificações ambientais na construção civil**

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a redução dos impactos ambientais da construção civil impulsionou o desenvolvimento de certificações ambientais. Essas certificações têm o objetivo de estabelecer critérios para avaliar o desempenho ambiental de edificações e incentivar práticas mais sustentáveis no setor. No Brasil, diversas certificações têm sido adotadas, tanto nacionais quanto internacionais, como AQUA-HQE, LEED, BREEAM e Casas Azul.

A adoção de certificações ambientais proporciona benefícios ambientais, sociais e econômicos, pois contribui para a eficiência energética, uso racional dos recursos naturais, conforto dos usuários e valorização dos imóveis sustentáveis (GBC BRASIL, 2017).

### **2.3.1 Certificação AQUA-HQE**

A certificação AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental – *Haute Qualité Environnementale*) é uma certificação de origem francesa, adaptada ao Brasil pela Fundação Vanzolini em 2008. Ela se baseia em critérios de sustentabilidade aplicados ao projeto, construção, operação e manutenção de edificações (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2019).

O processo de certificação AQUA-HQE é baseado na avaliação de 14 categorias ambientais, que incluem eficiência energética, conforto térmico e acústico, gestão de água e redução da emissão de CO<sub>2</sub>. Um dos diferenciais dessa certificação é sua adaptação às condições climáticas e culturais brasileiras, o que facilita sua

aplicação em diferentes regiões do país (LEITE, 2011). A Tabela 1 descreve as categorias ambientais avaliadas pela certificação AQUA-HQE.

Tabela 1 – Categorias ambientais avaliadas pela certificação AQUA-HQE

<b>Nº</b>	<b>Categoria Ambiental</b>	<b>Descrição</b>
1	Relação do edifício com o entorno	Integração com o ambiente externo, clima, topografia e paisagem.
2	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos	Seleção de materiais e técnicas com critérios de sustentabilidade.
3	Canteiro de obras com baixo impacto ambiental	Redução de impactos ambientais durante a fase de construção.
4	Gestão de energia	Eficiência energética e uso racional da energia no edifício.
5	Gestão de água	Uso eficiente, reaproveitamento e captação de água da chuva.
6	Gestão de resíduos	Minimização adequada dos resíduos.
7	Manutenção – Permeabilidade à manutenção	Facilidade de acesso e manutenção dos sistemas prediais.
8	Conforto higrotérmico	Qualidade térmica dos ambientes internos.
9	Conforto acústico	Controle de ruídos e qualidade sonora dos espaços.
10	Conforto visual	Aproveitamento da iluminação natural e controle do ofuscamento.
11	Conforto olfativo	Ventilação e controle de odores nos ambientes.
12	Qualidade sanitária dos ambientes	Escolha de materiais e condições de limpeza e conservação.
13	Qualidade sanitária do ar	Controle de poluentes e renovação de ar interior.
14	Qualidade sanitária da água	Segurança e potabilidade da água utilizada no edifício.

Fonte: Adaptado de FUNDAÇÃO VANZOLINI (2019).

### 2.3.2 Certificação LEED

A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), criada pelo *U.S. Green Building Council (USGBC)*, é uma das mais reconhecidas no mundo. No Brasil, ela tem sido amplamente adotada para avaliar o desempenho sustentável de edifícios, considerando critérios como eficiência energética, uso de materiais recicláveis e reaproveitamento de água (CONCEIÇÃO, 2021).

As categoriais de avaliação ambiental da certificação LEED variam um pouco conforme a versão e o tipo de projeto (ex: novas construções, interiores, bairros, etc.), mas no caso mais comum, o LEED v4 para Novas Construções, as principais categorias de avaliação estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Categorias de avaliação da certificação LEED v4 (Novas Construções)

Nº	Categoria Ambiental	Descrição
1	Localização e Transporte (LT)	Incentiva o uso de transporte público e a escolha de locais com infraestrutura consolidada.
2	Terreno Sustentável (SS)	Avalia estratégias de preservação do solo, vegetação e controle da poluição do canteiro de obras.
3	Eficiência no Uso da Água (WE)	Promove a redução do consumo de água e incentiva o reaproveitamento e irrigação eficiente.
4	Energia e Atmosfera (EA)	Estimula a eficiência energética, o uso de fontes renováveis e a medição do desempenho energético.
5	Materiais e Recursos (MR)	Incentiva o uso de materiais reciclados, reutilizados e com baixa emissão de carbono.
6	Qualidade Ambiental Interna (IEQ)	Garante conforto térmico, acústico, visual e qualidade do ar nos ambientes internos.
7	Inovação (IN)	Reconhece práticas sustentáveis inovadoras além dos requisitos mínimos.
8	Prioridade Regional (RP)	Premia soluções que atendem desafios ambientais específicos da região do projeto.

Fonte: Adaptado de GONÇALVES, 2014.

O sistema de pontuação do LEED classifica os edifícios em quatro níveis: *Certified*, *Silver*, *Gold* e *Platinum*, conforme o número de créditos sustentáveis obtidos

pelo projeto. Edificações certificadas com LEED demonstram menor consumo de energia e água, redução de resíduos e maior qualidade ambiental interna (GBC BRASIL, 2017).

### 2.3.3 Certificação BREEAM

O BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) é um dos sistemas de certificações mais antigos do mundo, criado no Reino Unido em 1990. Ele avalia critérios como uso eficiente de energia e água, impacto ambiental dos materiais utilizados e gestão de resíduos. No Brasil, seu uso ainda é limitado, mas algumas empresas buscam essa certificação para atender padrões internacionais de sustentabilidades (UGREEN, 2022).

As categorias analisadas pela BREEAM englobam desde o consumo de recursos naturais até aspectos de bem-estar dos usuários e inovação tecnológica, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Categorias de avaliação da certificação BREEAM

Nº	Categoria Ambiental	Descrição
1	Gestão	Avalia a qualidade da gestão do projeto e da obra, incluindo práticas sustentáveis no processo.
2	Saúde e bem-estar	Considera o conforto térmico, acústico, visual e a qualidade do ar para os ocupantes.
3	Energia	Avalia a eficiência energética e o uso de fontes renováveis.
4	Transporte	Incentiva o uso de transporte sustentável e a acessibilidade do local.
5	Água	Trata do consumo eficiente de água e reaproveitamento.
6	Materiais	Considera o impacto ambiental dos materiais utilizados no ciclo de vida do edifício.
7	Resíduos	Avalia a gestão e destinação correta dos resíduos da construção e operação.
8	Uso do solo e ecologia	Estimula a preservação e melhoria da biodiversidade local e uso sustentável do solo.
9	Poluição	Reduz os impactos relacionados à poluição atmosférica, luminosa e sonora.
10	Inovação	Reconhece práticas inovadoras que excedem os requisitos padrão da certificação.

Fonte: Adaptado de UGREEN (2022).

### 2.3.4 Certificação Casa Azul

A certificação Casa Azul, desenvolvida pela Caixa Econômica Federal, é um dos principais selos ambientais exclusivamente brasileiro. Criada em 2009, essa certificação tem o objetivo de incentivar habitações sustentáveis, especialmente em empreendimentos do programa Minha Casa Minha Vida (SILVA, 2017).

A Casa Azul avalia seis categorias, sendo elas, Qualidade urbana e bem estar, Eficiência energética e conforto ambiental, Gestão eficiente da água, Produção sustentável, Social e Inovação. Empreendimentos que atendem esses critérios podem obter certificações nos níveis Cristal/Bronze, Topázio/Prata, Safira/Ouro ou Diamante, conforme o grau de sustentabilidade do projeto. Um dos principais benefícios da Casa Azul é sua focalização na habitação social, garantindo que construções de baixo custo também incorporem conceitos de sustentabilidade (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2024).

O sistema é baseado em critérios técnicos distribuídos em categorias que abrangem desde o uso racional dos recursos até a promoção da qualidade de vida dos moradores. A seguir, na Tabela 4, são apresentadas as categorias de avaliação da Certificação Casa Azul.

Tabela 4 – Categorias de avaliação da Certificação Casa Azul

Nº	Categoria	Descrição
1	Qualidade urbana e bem estar	Avalia o planejamento do entorno, mobilidade, acessibilidade e integração urbana. Considera a preservação do ambiente natural e o uso sustentável do terreno.
2	Eficiência energética e conforto ambiental	Foca na eficiência do projeto quanto à ventilação, iluminação e conforto ambiental. Avalia o consumo de energia e adoção de soluções para sua redução, como energias renováveis.
3	Gestão eficiente da água	Incentiva o uso racional de água e práticas de reuso e captação de águas pluviais.
4	Produção sustentável	Busca reduzir a quantidade de resíduos de construção e demolição e seus impactos no meio ambiente.
5	Social	Promove ações voltadas ao bem-estar dos usuários e à valorização da comunidade local.
6	Inovação	Reconhece práticas e tecnologias que ampliem os benefícios ambientais além dos requisitos básicos.

Fonte: Adaptado de CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2024).

### 2.3.5 Benefícios das certificações ambientais

A obtenção de certificações ambientais na construção civil traz uma série de benefícios ambientais, econômicos e sociais. Entre os principais, destacam-se (CONCEIÇÃO, 2021):

- **Redução dos impactos ambientais:** Minimização do consumo de energia e água, além da redução da geração de resíduos;
- **Valorização dos imóveis:** Edifícios certificados costumam ter maior valor de mercado e são mais atrativos para investidores;
- **Conforto e bem-estar:** Melhoria na qualidade ambiental interna, com maior conforto térmico, acústico e melhor qualidade do ar;
- **Eficiência energética:** Redução dos custos com eletricidade e água, tornando os empreendimentos mais econômicos ao longo do tempo.

### 2.3.6 Desafios para a implantação das certificações no Brasil

Apesar dos benefícios, ainda existem desafios para a adoção ampla de certificações ambientais na construção civil brasileira. Alguns dos principais obstáculos incluem (IPEA, 2022):

- **Alto custo inicial:** Algumas certificações exigem tecnologias sustentáveis e consultoria especializadas, o que pode elevar os custos iniciais da obra;
- **Falta de incentivo governamentais:** a ausência de políticas públicas eficazes para estimular construções sustentáveis dificulta a disseminação dessas práticas;
- **Desconhecimento do mercado:** Muitos incorporadores e consumidores ainda não compreendem os benefícios de edificações certificadas.

Para superar esses desafios, é essencial que governos, empresas e instituições de ensino invistam na disseminação de conhecimento sobre certificações ambientais, além de criar incentivos financeiros para tornar as construções sustentáveis mais acessíveis.

## **2.4 Tipos de materiais sustentáveis na construção civil**

Os materiais sustentáveis podem ser definidos como aqueles que minimizam o consumo de recursos naturais, possuem baixo impacto ambiental em seu ciclo de vida e contribuem para edificações mais eficientes (JOHN, 2017). Eles podem ser classificados em diversas categorias, incluindo materiais reciclados, naturais, de baixa emissão de CO<sub>2</sub> e biodegradáveis.

### **2.4.1 Materiais reciclados**

Os materiais reciclados são aqueles produzidos a partir da reutilização de resíduos industriais, urbanos ou da própria construção civil. Seu uso reduz a demanda por matérias-primas virgens e minimiza a geração de resíduos.

#### **2.4.1.1 Concreto reciclado**

O concreto reciclado é produzido a partir da reutilização de entulhos e resíduos de concreto de demolições. Estudos indicam que o concreto reciclado pode reduzir em até 30% a extração de agregados naturais, sem comprometer sua resistência mecânica (SOUZA; PAES; BARBOZA, 2020).

O concreto reciclado surge como uma solução eficiente frente aos impactos ambientais causados pelo descarte de resíduos de construção e demolição (RCD). Esse material é obtido a partir da substituição parcial ou total dos agregados naturais por agregados reciclados oriundos da britagem de resíduos de concreto, alvenaria, cerâmica, entre outros componentes (SILVA; CASCUDO, 2014).

Segundo Ângulo e John (2011), o uso de agregados reciclados de concreto é viável tecnicamente, desde que sejam observadas as limitações quanto ao tipo de aplicação e ao controle de qualidade do material. A produção do concreto reciclado inclui etapas como separação dos resíduos, trituração mecânica, peneiramento, e, em alguns casos, lavagem dos agregados para retirada de impurezas.

Do ponto de vista técnico, o concreto com agregados reciclados apresenta maior porosidade e absorção de água em relação ao concreto convencional, o que pode afetar propriedades como resistência mecânica e durabilidade. Contudo, estudos têm demonstrado que com controle adequado de dosagem e aplicação, seu

desempenho pode ser satisfatório para diversas finalidades, como pavimentação, blocos de vedação, calçadas e elementos não estruturais (SILVA; CINCOTTO, 2003).

Entre os principais benefícios ambientais e econômicos associados ao uso do concreto reciclado, destacam-se:

- Redução da extração de recursos naturais;
- Redução de deposição de entulhos em aterros;
- Diminuição da pegada de carbono associada ao transporte e processamento de agregados naturais;
- Contribuição para certificações ambientais.

Contudo, os desafios incluem a variabilidade do material reciclado, exigência de controle de qualidade rigoroso e limitação para uso em estruturas de alta exigência técnica (GONÇALVES, 2014). A Tabela 5 apresenta um comparativo entre o concreto convencional e o concreto com agregado reciclado.

Tabela 5 – Comparativo entre concreto convencional e concreto com agregado reciclado

<b>Característica</b>	<b>Concreto Convencional</b>	<b>Concreto com Agregado Reciclado</b>
Agregado	Natural (brita, areia)	RCD processado (concreto, cerâmica, argamassa)
Resistência à compressão	Alta	Média a alta (dependente do controle de qualidade)
Absorção de água	Baixa	Alta
Sustentabilidade ambiental	Baixa	Alta
Custo	Médio a alto	Potencialmente reduzido
Aplicações recomendadas	Estruturas em geral	Pavimentos, blocos, calçadas, elementos não estruturais

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 2.4.1.2 Madeira plástica

A madeira plástica, também conhecida como madeira ecológica ou WPC (*Wood Plastic Composite*), é um material compósito fabricado a partir da mistura de resíduos plásticos reciclados com fibras vegetais, como serragem ou bagaço de cana. Essa alternativa sustentável tem ganhado destaque na construção civil por seu desempenho técnico, durabilidade e contribuição ambiental, substituindo a madeira convencional em diversos usos (BRITO; TRINDADE, 2023).

A produção da madeira plástica envolve a coleta e separação de resíduos plásticos, especialmente polietileno de alta ou baixa densidade (PEAD/PEBD), polipropileno (PP) ou PET, que são triturados e fundidos em extrusoras junto a fibras vegetais de madeira, podendo ser utilizadas em pisos, decks cercas, fachadas, mobiliário urbano, entre outras aplicações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO PVC, 2022). A Figura 1 apresenta um exemplo de madeira plástica sendo utilizada em um deck.

Figura 1 – Madeira plástica utilizada em deck



Fonte: Imobilis, 2023.

Entre os principais benefícios da madeira plástica, destaca-se sua alta resistência à umidade, pragas e intempéries, além de dispensar tratamentos químicos e manutenções periódicas, comuns à madeira natural. Além disso, por conter até 90% de materiais reciclados em sua composição, esse material contribui significativamente para a redução de resíduos sólidos plásticos e para a preservação de florestas, ao evitar o corte de árvores (SANTOS *et al.*, 2025).

Do ponto de vista ambiental, a madeira plástica se alinha aos princípios da economia circular, promovendo o reaproveitamento de resíduos urbanos e industriais que normalmente seriam destinados a aterros sanitários ou ao meio ambiente. Conforme dados do Instituto Nacional do Plástico (INP, 2021), o Brasil gera cerca de 3,5 milhões de toneladas de resíduos plásticos por ano, dos quais apenas 1,2% são reciclados mecanicamente. A ampliação do uso da madeira plástica representa uma oportunidade concreta para mudar esse cenário.

Apesar das vantagens, é importante destacar que o custo inicial da madeira plástica pode ser mais elevado que o da madeira convencional. No entanto, a longa

vida útil e a baixa necessidade de manutenção tendem a compensar esse investimento ao longo prazo (LESCO, 2025). Por essas razões, a madeira plástica vem sendo incorporada a projetos sustentáveis, incluindo habitações sociais, paisagismo e mobiliário urbano.

### 2.4.1.3 Vidro reciclado

O vidro reciclado tem se destacado como uma alternativa sustentável na construção civil, devido ao seu alto potencial de reaproveitamento e à possibilidade de substituição parcial de matérias-primas virgens, reduzindo os impactos ambientais associados à sua produção. O vidro é 100% reciclável e pode ser reutilizado inúmeras vezes sem perda de suas propriedades físico-químicas (ABIVIDRO, 2021).

A obtenção do vidro reciclado envolve a coleta seletiva de resíduos de vidro, sua separação por cor e tipo, a trituração em partículas chamadas de cacos e a posterior fundição em fornos industriais para produção de novos materiais vítreos, como blocos, revestimentos, agregados ou peças decorativas. Segundo Cazetta e Souza (2020), esse processo consome cerca de 30% menos energias do que a produção de vidro a partir de matérias-primas primárias, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEEs). A Figura 2 demonstra o ciclo de produção do vidro reciclado.

Figura 2 – Ciclo de produção do vidro reciclado



Fonte: Propeg, 2023.

Na construção civil, o vidro reciclado pode ser utilizado de diversas formas, como em agregados alternativos para concretos e argamassas, na produção de

pastilhas, blocos de vidro, painéis translúcidos, além de pisos e revestimentos vítreos, conferindo características estéticas e funcionais às edificações (COSTA; MEDEIROS, 2018). Além disso, o uso do vidro reciclado contribui para a redução de resíduos sólidos urbanos, promovendo a economia circular e o desenvolvimento sustentável nas cidades.

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2022), o Brasil recicla cerca de 47% do vidro consumido, com potencial de crescimento, principalmente com o avanço de políticas públicas e incentivos à coleta seletiva. O vidro reciclado também apresenta baixa absorção de água, elevada durabilidade química e resistência ao fogo, sendo uma opção segura e eficiente em diversos sistemas construtivos (CAROLINA, 2020).

Apesar de suas vantagens, o uso do vidro reciclado na construção ainda enfrenta desafios, como a logística de coleta e separação adequada, além da falta de normatização técnica específica para algumas aplicações. No entanto, experiências nacionais têm mostrado resultados positivos, como o uso de pó de vidro reciclado em substituição parcial ao cimento ou à areia em concretos de baixo impacto ambiental (COSTA; MEDEIROS, 2018).

#### **2.4.2 Materiais naturais**

Materiais naturais são aqueles extraídos diretamente da natureza, sem processos industriais complexos ou aditivos químicos. Eles costumam ter baixo impacto ambiental e excelente desempenho térmico.

##### **2.4.2.1 Bambu**

Considerado um dos materiais mais sustentáveis do mundo, o bambu cresce rapidamente e possui elevada resistência mecânica. No Brasil, tem sido utilizado na construção de estruturas, pisos e revestimentos, sendo uma alternativa viável à madeira convencional (EMBRAPA, 2018).

O bambu é um material natural renovável de rápido crescimento, que tem sido amplamente estudado e promovido como alternativa sustentável para a construção civil. Considerado um dos recursos vegetais com maior potencial para aplicações estruturais e arquitetônicas, o bambu destaca-se por crescer em

praticamente todos os continentes tropicais e subtropicais, com espécies adaptadas ao clima brasileiro (OSSE; MEIRELLES, 2011). A Figura 3 apresenta um modelo de edificação com o uso de bambu.

Figura 3 – Construção com uso de bambu



Fonte: Ugreen, 2025.

A obtenção do bambu envolve o cultivo agroecológico ou em consórcios florestais, sendo colhido geralmente após 3 a 5 anos de crescimento, período em que atinge a maturidade estrutural. Após a colheita, o bambu passa por tratamentos preservativos como cura, secagem e imersão em soluções salinas ou borato de sódio, para garantir maior durabilidade e resistência a fungos, insetos e umidade (GONÇALVES; BASTOS, 2021).

Segundo Lima e Morais (2020), o bambu apresenta excelente relação resistência-peso, além de flexibilidade, resiliência sísmica e elevada capacidade de absorção de impactos. Essas características fazem com que ele seja aplicado tanto em estruturas temporárias quanto permanentes, como vigas, pilares, telhados, divisórias, revestimentos e até em sistemas construtivos completos, especialmente em habitações de interesse social e construções ecologicamente corretas.

Do ponto de vista ambiental, o bambu possui diversas vantagens: é uma gramínea lenhosa de rápido crescimento, com alta taxa de fixação de CO<sub>2</sub>, contribuindo para o sequestro de carbono e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, seu cultivo pode recuperar áreas degradadas, favorecer a

biodiversidade e gerar renda para pequenas comunidades rurais (OSSE; MEIRELLES, 2011).

Estudos apontam que o uso do bambu na construção civil pode reduzir a demanda por madeira convencional e aço, sendo uma alternativa viável em termos econômicos e sustentáveis. Ainda que existam limitações normativas para seu uso em larga escala no Brasil, experiências em estados como Acre, Paraná e Minas Gerais têm demonstrado o sucesso de sua aplicação em obras públicas e privadas (REIS; SILVA, 2017).

#### 2.4.2.2 Adobe

O adobe é um dos materiais de construção mais antigos da humanidade, tradicionalmente produzido a partir de uma mistura de terra crua, água e fibras naturais (como palha ou esterco animal), moldada manualmente em blocos e seca ao sol. Por ser um material natural, de baixo impacto ambiental e baixo custo, o adobe é amplamente utilizado em construções sustentáveis, sobretudo em regiões de clima seco (GIRADELLI *et al.*, 2021). Na Figura 4 pode-se observar a formação artesanal de blocos de adobe.

Figura 4 – Formação artesanal de blocos de adobe



Fonte: Pulido, 2020.

A obtenção do adobe começa com a seleção de um solo argiloso, geralmente com teores equilibrados de areia, silte e argila, o que garante coesão e resistência. A mistura é homogeneizada com aditivos naturais e colocada em formas

retangulares, sendo então secada naturalmente por vários dias, sem necessidade de queima ou uso de energia térmica, como ocorre na produção de tijolos cerâmicos (SANTOS; SILVA, 2019).

Do ponto de vista construtivo, o adobe oferece excelente isolamento térmico e acústico, sendo capaz de manter temperaturas internas mais estáveis, o que o torna ideal para climas quentes e secos. Além disso, é um material respirável, que contribui para o conforto ambiental e a qualidade do ar interno (PINTO, 2021). A Figura 5 mostra um exemplo de edificação com a utilização de adobe.

Figura 5 – Edificação com a utilização de adobe



Fonte: Baraya, 2020.

Entre os benefícios ambientais, destaca-se o baixo consumo energético em sua produção, o uso de recursos locais, a biodegradabilidade e o potencial de reutilização dos blocos. Estudos mostram que a construção com adobe pode reduzir significativamente a pegada de carbono do setor da construção civil, especialmente quando comparado a materiais industrializados (SANTOS; SILVA, 2019).

No Brasil, o adobe tem sido redescoberto como uma solução viável e sustentável para habitações de interesse social e arquitetura bioclimática, principalmente em comunidades rurais e projetos de autoconstrução assistida. Experiências em estados como Minas Gerais, Bahia e Goiás demonstram o seu potencial técnico e social, além de valorizar técnicas construtivas tradicionais adaptadas ao contexto local (PINTO, 2021).

### 2.4.2.3 Palha e fibras vegetais

A utilização de palha e fibras vegetais na construção civil remonta a técnicas tradicionais e vernaculares que vêm sendo revisitadas no contexto da arquitetura sustentável. Esses materiais são provenientes da agricultura e do manejo florestal, incluindo resíduos como palha de arroz, palha de trigo, bagaço de cana-de-açúcar, fibra de coco, sisal, juta e bambu, sendo largamente disponíveis em diversas regiões do Brasil (SANTOS; COSTA, 2017).

Essas fibras são geralmente obtidas de forma manual ou mecanizada após a colheita agrícola ou extração florestal e, dependendo da aplicação, podem passar por processos de secagem, trituração, prensagem ou tratamento com aditivos naturais ou sintéticos. Elas são aplicadas como componentes em painéis, telhas, rebocos, blocos, compósitos e como elementos de vedação ou isolamento térmico e acústico (SILVA; COSTA, 2020).

Do ponto de vista técnico, as fibras vegetais são leves, resistentes à tração e apresentam excelente desempenho como isolantes térmicos e acústicos, além de promoverem conforto higrotérmico em ambientes internos. A palha, quando utilizada em fardos compactos, também tem sido explorada como material de vedação e até como elemento estrutural em construções sustentáveis, com destaque para o método conhecido como *Straw Bale Construction* (Construção com fardos de palha), que é uma técnica sustentável que utiliza fardos compactados de palha como elemento construtivo (SANTOS; COSTA, 2017).

Ambientalmente, a principal vantagem desses materiais é o aproveitamento de resíduos que, de outra forma, seriam descartados ou queimados, contribuindo para a redução de resíduos sólidos e emissões de carbono. Além disso, por serem biodegradáveis, renováveis e de origem local, reduzem o impacto ambiental do transporte e o consumo de energia incorporada (SILVA; COSTA, 2020).

No Brasil, iniciativas de ecoempreendedorismo e arquitetura bioclimática vêm explorando o uso de fibras vegetais em habitações de interesse social, construções rurais e até mesmo em edificações comerciais e educacionais, com resultados positivos tanto do ponto de vista técnico quanto socioambiental (SANTOS; MENDES, 2020).

### 2.4.3 Materiais de baixa emissão de CO<sub>2</sub>

A fabricação de materiais como cimento e aço é altamente poluente, sendo responsável por 8% das emissões globais de CO<sub>2</sub> (IPEA, 2022). Alternativas mais sustentáveis vêm sendo desenvolvidas para reduzir esse impacto.

#### 2.4.3.1 Cimento de baixo carbono

A produção convencional de cimento Portland é responsável por aproximadamente 7% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o que torna esse material um dos principais focos das estratégias para descarbonização da construção civil (VERDIANI *et al.*, 2025). Nesse contexto, o cimento de baixo carbono surge como alternativa inovadora, com potencial significativo de reduzir os impactos ambientais associados ao setor.

O cimento de baixo carbono é produzido a partir de tecnologias que reduzem a quantidade de clínquer, o principal componente do cimento Portland e grande emissor de CO<sub>2</sub>. Isso é possível mediante a substituição parcial do clínquer por materiais pozolânicos ou resíduos industriais, como escória de alto-forno, cinzas volantes e argilas calcinadas, que apresentam propriedades cimentantes e são menos emissivos (LIMA; SILVA, 2023).

No Brasil, iniciativas como o Cimento Portland Composto (CP-II) e o Cimento de Alto-forno (CP-III) já incorporam esse princípio, podendo conter até 65% de substituintes ao clínquer, o que proporciona uma redução de até 30% nas emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento produzido (ABCIC, 2021). Além disso, a tecnologia LC<sup>3</sup> (*Limestone Calcined Clay Cement*) vem sendo estudada por centros de pesquisa e universidades brasileiras como alternativa promissora para a transição para uma economia de baixo carbono na construção civil (LIMA; SILVA, 2023).

Os benefícios do cimento de baixo carbono vão além da questão ambiental. Estudos apontam que esse tipo de cimento mantém ou até supera os desempenhos técnicos em durabilidade, resistência e estabilidade quando comparado ao cimento convencional, especialmente em obras de infraestrutura e edificações sustentáveis (VERDIANI *et al.*, 2025).

Ademais, sua aplicação contribui para o cumprimento de metas de sustentabilidade e certificações ambientais, como LEED, AQUA-HQE e Casa Azul,

que valorizam uso de materiais com menor impacto ambiental em todo o ciclo de vida da construção (SNIC, 2021). A transição para o cimento de baixo carbono está alinhada com os compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, e representa uma das estratégias mais viáveis e urgentes para a descarbonização da cadeia produtiva da construção civil. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre o cimento Portland convencional e o cimento de baixo carbono.

Tabela 6 – Comparativo entre o Cimento Portland Convencional e o Cimento de Baixo Carbono

<b>Critério</b>	<b>Cimento Portland Convencional</b>	<b>Cimento de Baixo Carbono</b>
Matéria-prima principal	Clínquer (alta emissão de CO <sub>2</sub> )	Clínquer + adições minerais (pozolanas, escória)
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg/tonelada)	800 <sup>a</sup> 900 kg	500 a 650 kg
Energia utilizada na produção	Alta	Moderada
Durabilidade	Alta	Alta ou superior
Custo	Médio	Variável (pode ser menor dependendo da adição)
Aplicabilidade	Ampla (residencial, infraestrutura)	Ampla, com foco em obra sustentáveis
Contribuição à sustentabilidade	Baixa	Alta

Fonte: Adaptado de SNIC (2021).

#### 2.4.3.2 Tijolos ecológicos

Os tijolos ecológicos, também conhecidos como tijolos de solo-cimento, vêm se consolidando como alternativa sustentável na construção civil brasileira, por aliarem viabilidade técnica, baixo impacto ambiental e economia de recursos naturais. Sua principal característica é a não utilização de queima no processo de fabricação, o que reduz significativamente as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) associadas à produção de materiais cerâmicos convencionais (SILVA; MONTEIRO, 2016). A Figura 6 demonstra um modelo de tijolo ecológico e sua aplicação.

Figura 6 – Tijolos ecológicos



Fonte: Seregusa, 2024.

O processo de produção envolve a mistura de solo argiloso, cimento Portland e água, prensada em moldes com o auxílio de prensas manuais ou hidráulicas. Após a moldagem, os tijolos passam por um processo de cura úmida por cerca de 7 dias, ao invés da queima em fornos, o que representa uma significativa economia energética. A prensagem confere aos blocos elevada resistência mecânica e boa uniformidade dimensional, o que facilita o assentamento e reduz a necessidade de argamassa de revestimento (SANTOS *et al.*, 2023).

De acordo com Silva e Monteiro (2016), “a produção de tijolos ecológicos permite a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) e até cinzas industriais na composição do solo, ampliando ainda mais seu caráter sustentável”. Além disso, a geometria dos blocos, com encaixes do tipo macho e fêmea, contribui para maior estabilidade estrutural, redução de custos com argamassa e aumento da produtividade em obra.

Entre as principais vantagens dos tijolos ecológicos, destacam-se (SANTOS *et al.*, 2023):

- Redução da emissão de CO<sub>2</sub> pela eliminação da queima;
- Reutilização de solos locais ou resíduos na composição;
- Redução no consumo de argamassa e tempo de construção;
- Possibilidade de uso em sistemas de alvenaria estrutural;
- Melhor isolamento térmico e acústico, devido à maior massa e uniformidade.

Entretanto, seu desempenho depende diretamente da qualidade do solo, da dosagem correta dos materiais e do controle de umidade durante o processo de cura. Ensaio laboratoriais prévios são recomendados para garantir a resistência mínima e a durabilidade exigidas pelas normas técnicas brasileiras, como ABNT NBR 8492:2012 (ABNT, 2012).

### **2.4.3.3 Aço reciclado**

O aço é um dos materiais mais utilizados na construção civil devido às suas propriedades estruturais, como alta resistência à tração, ductibilidade e durabilidade. Uma de suas principais vantagens ambientais é a possibilidade de ser 100% reciclado diversas vezes sem perda significativa de suas propriedades mecânicas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021). O aço reciclado, nesse contexto, se configura como uma alternativa sustentável de grande importância para a redução dos impactos ambientais no setor da construção.

A produção do aço reciclado ocorre, principalmente, por meio do processo de forno elétrico a arco (FEA), que utiliza sucata metálica como matéria-prima. Este método consome menos energia e emite significativamente menos CO<sub>2</sub> em comparação ao processo tradicional em alto-forno, que depende de minério de ferro e carvão coque (CNI, 2020). Segundo o Instituto Aço Brasil (2021), a produção de uma tonelada de aço reciclado economiza cerca de 1.400 kg de minério de ferro, 740 kg de carvão e evita a emissão de até 1.800 kg de CO<sub>2</sub>.

Além dos benefícios ambientais, o aço reciclado possui elevado valor técnico, sendo amplamente utilizado em estruturas metálicas, armaduras para concreto armado, sistemas de cobertura e fachadas. Sua padronização e controle de qualidade também garantem segurança estrutural e versatilidade nos projetos arquitetônicos (GONÇALVES; MENDES, 2019).

Do ponto de vista econômico, a reciclagem do aço gera empregos na cadeia de coleta, triagem e beneficiamento da sucata, promovendo a economia circular. Também reduz a dependência de matérias-primas virgens e contribui para o cumprimento de metas de sustentabilidade em empreendimentos certificados por selos como LEED e AQUA-HQE (CBIC, 2022).

Portanto, o aço reciclado representa uma alternativa coerente com os princípios da sustentabilidade na construção civil, unindo eficiência técnica, viabilidade

econômica e responsabilidade ambiental. A Tabela 7 apresenta um comparativo entre o aço convencional e o aço reciclado.

Tabela 7 – Comparativo entre o Aço Convencional e o Aço Reciclado

<b>Critério</b>	<b>Aço Convencional (Alto-forno)</b>	<b>Aço Reciclado (Forno Elétrico a Arco)</b>
Matéria-prima principal	Minério de ferro e carvão coque	Sucata metálica
Processo de produção	Redução em alto-forno	Reciclagem em forno elétrico
Emissão média de CO <sup>2</sup>	1.800 – 2.100 kg/tonelada	400 – 800 kg/tonelada
Reaproveitamento de resíduos	Baixo	Alto (100% reciclável)
Consumo energético	Elevado	Moderado
Durabilidade e desempenho	Elevado	Elevado
Aplicações na construção civil	Estruturas, armaduras, fundações, coberturas	As mesmas do convencional
Custo de produção	Superior devido à extração e insumos	Reduzido conforme disponibilidade da sucata

Fonte: Adaptado de Instituto Aço Brasil (2021).

#### **2.4.4 Materiais biodegradáveis**

Os materiais biodegradáveis são aqueles que, ao final de sua vida útil, se decompõem naturalmente sem causar impactos ambientais significativos.

##### **2.4.4.1 Pisos e revestimentos de cortiça**

A cortiça é um material natural, renovável e biodegradável, extraído da casca do sobreiro (*Quercus suber*), árvore nativa de regiões mediterrâneas, mas que pode ser cultivada em condições similares no Brasil. Seu uso na construção civil, especialmente em pisos e revestimentos, tem ganhado destaque devido às suas propriedades acústicas, térmicas e sustentáveis (MORAES, 2022).

A extração da cortiça é realizada de forma não agressiva à planta, pois consiste na retirada da casca externa do tronco, processo que pode ser repetido a cada nove anos sem danificar a árvore (ALMEIDA; GOMES, 201). Após a colheita, o material passa por processos de secagem, trituração e aglomeração com resinas

naturais ou revestimentos de parede e forros. A Figura 7 demonstra um exemplo de piso de cortiça.

Figura 7 – Piso de cortiça



Fonte: Decoreexpro, 2024.

Entre os principais benefícios da cortiça destacam-se:

- Excelente isolamento térmico e acústico;
- Resistência à umidade e ao ataque de fungos e insetos;
- Conforto ao pisar e amortecimento de impactos;
- Baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs);
- Biodegradabilidade e possibilidade de reciclagem.

Segundo a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA, 2021), os pisos de cortiça são considerados uma alternativa viável em projetos sustentáveis por contribuírem para o conforto ambiental e a redução da pegada ecológica da edificação. Além disso, atendem aos critérios de certificações como LEED e AQUA por apresentarem baixo impacto ambiental em seu ciclo de vida.

A versatilidade estética também é um atrativo, já que os revestimentos de cortiça estão disponíveis em diferentes cores, texturas e acabamentos, permitindo sua integração em ambientes residenciais e comerciais com alto desempenho técnico e ambiental (AMORIM CORK, 2020).

#### 2.4.4.2 Tinta ecológica

As tintas ecológicas são produtos formulados com menor impacto ambiental em todo o seu ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas até o descarte. Diferentemente das tintas convencionais, que costumam conter derivados de petróleo, solventes tóxicos e metais pesados, as tintas ecológicas priorizam componentes naturais, renováveis ou reciclados, além de reduzirem significativamente a emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) (CETESB, 2019).

Essas tintas podem ser à base de água, argila, cal, silicatos ou óleos vegetais, sendo muitas vezes formuladas com pigmentos minerais ou naturais, como o urucum, o jenipapo ou o óxido de ferro. A produção dessas tintas valoriza técnicas de baixo impacto e pode, inclusive, ser realizada de forma artesanal ou semi-industrial, o que contribui para o fortalecimento da economia local e a preservação de saberes tradicionais (SOUZA; PEREIRA, 2020).

Entre os principais benefícios das tintas ecológicas estão:

- Redução na emissão de COVs, melhorando a qualidade do ar interno;
- Menor toxicidade, contribuindo para a saúde ocupacional e dos usuários;
- Uso de matérias-primas naturais, recicláveis ou de origem vegetal;
- Alta durabilidade e resistência à ação de fungos, bactérias e umidade, dependendo da formulação.

Além dos benefícios ambientais, as tintas ecológicas têm sido cada vez mais utilizadas em projetos certificados por selos como LEED e AQUA-HQE, uma vez que atendem a critérios de sustentabilidade relacionados à qualidade ambiental interna e à seleção de materiais de baixo impacto (CBIC, 2021).

Segundo Souza e Pereira (2020), o uso de tintas ecológicas em ambientes internos contribui para a melhoria da salubridade dos espaços construídos, sendo uma alternativa eficaz, principalmente em escolas, hospitais e residências com pessoas sensíveis a substâncias químicas.

#### 2.4.5 Vantagens e desafios do uso de materiais sustentáveis

A adoção de materiais sustentáveis na construção civil traz benefícios ambientais, econômicos e sociais, tais como (IPEA, 2022):

- **Redução dos impactos ambientais:** Menor extração de recursos naturais e redução na emissão de CO<sub>2</sub>;
- **Eficiência econômica:** Materiais reciclados e naturais podem reduzir custos de produção e manutenção;
- **Conforto térmico e acústico:** Muitos materiais sustentáveis, como adobe e bambu, proporcionam melhor isolamento térmico;
- **Ciclo de vida sustentável:** Possibilidade de reaproveitamento e reciclagem ao final da vida útil da construção.

Na Tabela 8, são apresentadas as principais vantagens e desafios dos principais materiais sustentáveis na construção civil.

Tabela 8 – Vantagens e desafios dos principais materiais sustentáveis na construção civil

<b>Material</b>	<b>Principais Vantagens</b>	<b>Principais Desafios</b>
Concreto reciclado	Reduz o uso de agregados naturais; aproveita resíduos; bom desempenho estrutural.	Controle de qualidade variável; resistência inferior ao convencional em alguns casos.
Madeira plástica	Resistente à umidade e pragas; feita de resíduos plásticos; longa vida útil.	Custo elevado; aparência menos natural; pode deformar com altas temperaturas.
Vidro reciclado	Alta durabilidade; 100 % reciclável; menor extração de matéria-prima.	Alto custo de reciclagem; necessidade de triagem eficiente do resíduo.
Bambu	Crescimento rápido; flexível; boa resistência mecânica; baixa emissão de CO <sub>2</sub> .	Pouca normatização técnica; sensível à umidade e praga sem tratamento adequado.
Adobe	Baixo impacto ambiental; conforto térmico; produção artesanal.	Alta absorção de água; restrição a locais secos; menor resistência mecânica.
Palha e fibras vegetais	Renováveis; isolamento térmico e acústico; biodegradáveis.	Alta inflamabilidade; pouca durabilidade sem tratamento; baixa padronização.
Cimento de baixo carbono	Reduz emissões de CO <sub>2</sub> ; pode usar resíduos industriais como insumos.	Menor disponibilidade no mercado; custo inicial mais elevado.
Tijolo ecológico	Menor emissão de CO <sub>2</sub> ; uso de solo-cimento; encaixe que reduz uso de argamassa.	Resistência à umidade; necessidade de mão de obra qualificada para correta aplicação.
Aço reciclado	Alta resistência; reciclável infinitamente; reduz demanda por minério.	Alto consumo energético no processo de reciclagem; logística de coleta.
Pisos e revestimentos de cortiça	Biodegradável; renovável; bom isolamento térmico e acústico.	Custo elevado; menor resistência a impactos; limitado a revestimentos internos.
Tinta ecológica	Baixo VOC; menor toxicidade; uso de insumo naturais; melhora a qualidade do ar.	Maior custo; menor disponibilidade no mercado; menor durabilidade em algumas versões.

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica e exploratória, fundamentada na revisão de literatura existente sobre materiais sustentáveis na construção civil. De acordo com Gil (2008), a pesquisa bibliográfica consiste na análise de publicações científicas, livros artigos e documentos que abordam o tema estudado, permitindo uma compreensão aprofundada da problemática. Dessa forma, este estudo baseia-se em fontes como relatórios de instituições governamentais, publicações acadêmicas e normativas técnicas relacionadas à sustentabilidade na construção civil.

A abordagem metodológica utilizada é qualitativa, uma vez que o objetivo da pesquisa é compreender os impactos ambientais da construção civil e analisar a utilização de materiais sustentáveis nesse setor. Segundo Creswell (2014), a pesquisa qualitativa permite explorar fenômenos complexos, proporcionando uma análise detalhada dos aspectos ambientais, econômicos e sociais associados ao uso de materiais ecológicos.

A estrutura metodológica deste estudo compreende as seguintes etapas:

1. **Revisão bibliográfica:** Levantamento e análise de publicações científicas, livros e documentos técnicos relacionados à sustentabilidade na construção civil, certificações ambientais e materiais sustentáveis;
2. **Seleção de materiais sustentáveis:** Definição dos principais materiais sustentáveis a serem analisados, de acordo com critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos;
3. **Análise comparativa:** Comparação entre diferentes materiais sustentáveis e convencionais, considerando fatores como desempenho técnico, custo-benefício e durabilidade e impacto ambiental;
4. **Estudo de casos:** Investigação de edificações nacionais que adotaram materiais sustentáveis em sua construção, destacando os benefícios ambientais, desafios e resultados obtidos.

As fontes utilizadas para embasar a pesquisa incluem artigos indexados em bases de dados como SciELO, CAPES e Google Acadêmico, além de normas técnicas e relatórios institucionais. A metodologia adotada possibilita a construção de um panorama abrangente sobre o tema, fornecendo subsídios para a compreensão dos desafios e oportunidades da aplicação de materiais sustentáveis na construção civil.

## **4 ESTUDO DE CASO**

A partir dos conceitos e fundamentos apresentados na revisão bibliográfica, este capítulo tem como objetivo aplicar os conhecimentos adquiridos na análise prática de materiais sustentáveis utilizados na construção civil. Para isso, serão considerados critérios técnicos e ambientais que orientam a seleção de materiais, como desempenho, durabilidade, impacto ambiental, custo e viabilidade de reaproveitamento.

Na sequência, realiza-se uma análise comparativa entre diferentes tipos de materiais sustentáveis amplamente utilizados no setor, considerando suas características, benefícios e limitações. Por fim, são apresentados exemplos reais de edificações que incorporaram materiais recicláveis em sua concepção e execução, a fim de ilustrar a viabilidade técnica e os ganhos ambientais proporcionados por essas escolhas.

A abordagem adotada neste estudo de caso visa demonstrar, de maneira objetiva e fundamentada, como a escolha criteriosa de materiais pode contribuir para edificações mais sustentáveis, eficientes e alinhadas às exigências contemporâneas de preservação ambiental e responsabilidade social.

### **4.1 Critérios para escolha de materiais sustentáveis na construção civil**

A seleção de materiais sustentáveis na construção civil deve considerar uma série de critérios técnicos, ambientais, sociais e econômicos, que impactam diretamente no desempenho da edificação e nos impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida. Essa escolha consciente contribui para a minimização da extração de recursos naturais, redução de resíduos e emissões de poluentes, além da valorização de soluções mais duráveis e de menor custo operacional.

Um dos principais critérios é o desempenho técnico, que envolve aspectos como resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade, isolamento térmico e acústico, bem como a compatibilidade com outros sistemas construtivos. Um material, por mais sustentável que seja em sua origem, não pode comprometer a segurança ou a eficiência da edificação (SILVA; MENDES, 2017).

Outro aspecto relevante é a durabilidade, ou seja, a capacidade do material de manter suas propriedades ao longo do tempo, reduzindo a necessidade de

manutenção e substituição. Materiais com maior vida útil implicam menor geração de resíduos e menor demanda por recursos, contribuindo para um ciclo de vida mais sustentável (AGOPYAN; JOHN, 2011).

A eficiência energética também é um critério fundamental. Materiais que contribuem para o conforto térmico da edificação, como isolantes naturais ou sistemas com maior refletância solar, podem reduzir significativamente o consumo de energia com climatização (PEREIRA; RIBEIRO, 2020).

O custo, tanto inicial quanto ao longo do ciclo de vida (manutenção, substituição e descarte), deve ser considerado. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta essencial nesse contexto, permitindo avaliar impactos ambientais desde a extração da matéria-prima até o descarte final (ABNT, 2014).

Além disso, a capacidade de reaproveitamento ou reciclagem do material após seu uso é um indicativo importante de sustentabilidade. Materiais reutilizáveis e recicláveis geram menos resíduos e demandam menos recursos naturais em sua produção (BRASIL, 2022).

A emissão de CO<sub>2</sub> associada à fabricação do material também é um critério crítico. Materiais com alta pegada de carbono, como o cimento convencional, vêm sendo substituído por alternativas como o cimento de baixo carbono ou o uso de resíduos industriais em substituição de matérias-primas convencionais (IPEA, 2021).

Por fim, devem ser considerados os aspectos sociais, como a geração de empregos locais, o estímulo a cadeias produtivas regionais e a promoção de condições seguras e dignas de trabalho.

A Tabela 9 resume os principais critérios que devem ser observados na escolha de materiais sustentáveis:

Tabela 9 – Critérios de avaliação de materiais

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
Desempenho técnico	Resistência, segurança, compatibilidade e qualidade técnica do material
Durabilidade	Vida útil prolongada e menor necessidade de manutenção
Eficiência energética	Capacidade de melhorar o desempenho térmico e reduzir consumo de energia
Custo e viabilidade	Avaliação do custo inicial, manutenção e custo ao longo do ciclo de vida
Análise do Ciclo de Vida (AVC)	Avaliação dos impactos ambientais desde a produção até o descarte final
Reciclabilidade / Reutilização	Potencial de reaproveitamento, reciclagem ou decomposição sem impactos negativos
Baixa emissão de CO <sub>2</sub>	Redução na emissão de gases de efeito estufa na fabricação e uso
Impacto social	Geração de empregos, uso de mão de obra local e respeito às normas trabalhistas

Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2 Análise comparativa de materiais sustentáveis

A escolha adequada de materiais é essencial para o avanço da construção civil em direção a práticas sustentáveis. A seleção de materiais sustentáveis na construção civil requer uma avaliação criteriosa de múltiplos fatores técnicos, ambientais e econômicos. Nesta seção, são analisados quatro materiais sustentáveis amplamente discutidos na literatura técnica: concreto reciclado, tijolo ecológico, bambu e aço reciclado. Para efeito de comparação, cada um desses materiais é contraposto a um material convencional com base em cinco critérios: desempenho técnico, durabilidade, custo, emissão de CO<sub>2</sub> e impacto ambiental.

### 4.2.1 Concreto reciclado

O concreto reciclado é obtido a partir da reutilização de resíduos de concreto oriundos de demolições ou sobras de obras, os quais passam por processos de britagem, separação e triagem para posterior uso como agregados reciclados. Em termos de desempenho técnico, ele apresenta resistência mecânica inferior ao concreto convencional, especialmente quando se utiliza elevada porcentagem de agregados reciclados. Contudo, sua viabilidade técnica já é comprovada em estruturas secundárias, pavimentações e elementos não estruturais (JOHN, 2017).

Quanto à durabilidade, o concreto reciclado pode apresentar maior porosidade, exigindo ajustes na dosagem ou o uso de aditivos para alcançar desempenho comparável ao tradicional (SOUZA; PAES; BARBOZA, 2020). O custo é variável: pode ser reduzido em regiões com oferta local de resíduos, porém pode se elevar se for necessário transporte ou tratamento especializado (SILVA; MELO, 2020).

A emissão de CO<sub>2</sub> é significativamente menor, considerando que evita a extração de novos agregados e reduz o descarte de resíduos. O impacto ambiental é positivo, ao promover economia de recursos naturais e a gestão adequada de resíduos da construção civil (CONCEIÇÃO; OLIVEIRA, 2022).

A Tabela 10 resume a comparação de critérios do concreto reciclado com o concreto convencional.

Tabela 10 – Concreto reciclado vs. Concreto convencional

<b>Critério</b>	<b>Concreto reciclado</b>	<b>Concreto convencional</b>
Desempenho técnico	Levemente inferior, mas satisfatório com aditivos	Alto desempenho mecânico e consistência
Durabilidade	Boa, com controle de granulometria e dosagem	Alta durabilidade em diversas aplicações
Custo	Reduzido (uso de resíduos como agregados)	Custo médio a alto (agregados naturais)
Emissão de CO <sub>2</sub>	Menor (reutiliza materiais)	Alta emissão na produção de cimento
Impacto ambiental	Reduzido (menos extração e entulho)	Alto (exploração de recursos e geração de resíduos)

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2 Tijolo ecológico

O tijolo ecológico, geralmente produzido com solo-cimento não necessita de queima em fornos, ao contrário do tijolo cerâmico tradicional. Em termos de desempenho técnico, possui bom isolamento térmico e acústico, além de apresentar encaixes que facilitam a execução de paredes e reduzem o uso de argamassa (SANTOS *et al.*, 2023).

Sua durabilidade é elevada quando respeitados os padrões de produção e cura, sendo adequado para edificações de pequeno e médio porte (WEBER; CAMPOS; BORGHA, 2017). O custo pode ser reduzido em função da diminuição de materiais e tempo de obra, embora o custo inicial de fabricação possa ser superior em alguns casos (SILVA; MONTEIRO, 2016).

A emissão de CO<sub>2</sub> é bastante inferior à do tijolo cerâmico, devido à eliminação da etapa de queima. Já o impacto ambiental é positivo, por economizar energia, água e materiais de construção, além de ser muitas vezes produzido com solo local, reduzindo transportes (SILVA; MONTEIRO, 2016).

A Tabela 11 resume a comparação de critérios do tijolo ecológico e do tijolo cerâmico convencional.

Tabela 11 – Tijolo ecológico vs. Tijolo cerâmico convencional

<b>Critério</b>	<b>Tijolo ecológico</b>	<b>Tijolo cerâmico convencional</b>
Desempenho técnico	Boa resistência e encaixe que facilita a montagem	Boa resistência, mas necessita de mais argamassa
Durabilidade	Alta, resistente à umidade e ao tempo	Alta, mas mais suscetível a fissuras
Custo	Reduzido (menor uso de argamassa e mão de obra)	Médio, porém menor custo inicial
Emissão de CO <sub>2</sub>	Baixa (produção a frio)	Alta (queima de madeira/combustíveis fósseis)
Impacto ambiental	Baixo, usa solo-cimento sem queima	Alto, uso de fornos e extração de argila

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 4.2.3 Bambu

O bambu é uma matéria-prima natural, renovável e de crescimento rápido, amplamente utilizada em construções sustentáveis. Quanto ao desempenho técnico, embora tenha excelente resistência à tração e flexão, sua aplicação estrutural exige cuidados quanto à proteção contra umidade, insetos e fungos (NUNES; JÚNIOR; PASTOR, 2021).

Sua durabilidade pode ser alta quando corretamente tratado e utilizado em ambientes adequados (LIMA; MORAIS, 2020). O custo tende a ser baixo, especialmente em regiões onde o bambu é abundante, e sua leveza reduz os custos de transporte e fundações. (REIS; SILVA, 2017).

A emissão de CO<sub>2</sub> é quase nula, pois o bambu, durante seu crescimento, sequestra grandes quantidades de carbono. O impacto ambiental é extremamente positivo, pois é biodegradável, de rápida regeneração e requer poucos insumos para cultivo (OSSE; MEIRELLES, 2011).

A Tabela 12 resume a comparação de critérios do bambu e da madeira convencional.

Tabela 12 – Bambu vs. Madeira

<b>Critério</b>	<b>Bambu</b>	<b>Madeira convencional</b>
Desempenho técnico	Boa resistência à tração e flexão	Boa resistência, mas requer mais beneficiamento
Durabilidade	Alta com tratamento adequado	Alta, mas depende de manejo e conservação
Custo	Baixo (crescimento rápido e abundante)	Médio a alto
Emissão de CO <sub>2</sub>	Muito baixa (crescimento rápido e absorção de CO <sub>2</sub> )	Moderada
Impacto ambiental	Muito baixo, regenerativo e biodegradável	Moderado, depende de manejo florestal

Fonte: Elaborado pelo Autor

#### 4.2.4 Aço reciclado

O aço reciclado é obtido a partir da sucata metálica reaproveitada e reprocessada em usinas siderúrgicas. Seu desempenho técnico é equivalente ao do aço virgem, mantendo as mesmas propriedades mecânicas e estruturais. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021).

Em termos de durabilidade, o aço reciclado também apresenta elevada resistência à corrosão quando adequadamente protegido e o custo é competitivo e tende a ser menor, devido à economia de energia e matéria-prima na sua produção (ABM, 2022).

A emissão de CO<sub>2</sub> é substancialmente reduzida em relação ao aço convencional, principalmente quando se utiliza o forno elétrico a arco na reciclagem. O impacto ambiental é menor, pois a reciclagem contribui para a redução de resíduos sólidos e da extração mineral (GONÇALVES; MENDES, 2019).

A Tabela 13 resume a comparação de critérios do aço reciclado e do aço convencional.

Tabela 13 – Aço reciclado vs. Aço virgem

<b>Critério</b>	<b>Aço reciclado</b>	<b>Aço convencional (virgem)</b>
Desempenho técnico	Idêntico ao aço virgem	Excelente, padronizado
Durabilidade	Alta (mesmas propriedades do aço virgem)	Alta
Custo	Reduzido (menor energia e insumos)	Elevado (extração e refino de minério)
Emissão de CO <sub>2</sub>	Reduzida (uso de fornos elétricos)	Muito alta (altos-fornos a carvão ou coque)
Impacto ambiental	Baixo, com economia circular	Alto, envolve mineração e resíduos industriais

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 4.3 Exemplos de edificações que utilizaram materiais sustentáveis

A busca por soluções mais sustentáveis na construção civil tem impulsionado projetos que priorizam o uso de materiais ecológicos, eficientes e de baixo impacto ambiental. Neste tópico, serão apresentados exemplos de edificações brasileiras que incorporaram práticas sustentáveis, evidenciando como o uso de materiais como concreto reciclado, bambu, tijolo solo-cimento, aço reciclado e tecnologias de eficiência energética pode contribuir para construções mais responsáveis e alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

#### 4.3.1 Edifício LLum Batel, Curitiba – PR

Um exemplo de edificação residencial que incorpora soluções sustentáveis de forma exemplar é o LLUM Batel, demonstrado na Figura 8, da Construtora Laguna, localizado em Curitiba (PR). O empreendimento foi o primeiro no Brasil a obter a pré-certificação LEED Gold na categoria residencial, e em 2021 foi eleito o melhor projeto sustentável do mundo pelo USGBC, por meio de votação pública e avaliação técnica (CONSTRUTORA LAGUNA, 2020).

Figura 8 – Edifício LLUM Batel



Fonte: Construtora Laguna, 2020.

Entre os principais diferenciais do projeto estão as estratégias para eficiência energética, como o uso intensivo de iluminação natural, instalação de luminárias LED, sensores de presença e 23 módulos fotovoltaicos, resultando em uma redução de 15% no consumo de energia em relação ao padrão LEED. Quanto ao uso de água, o edifício promove uma economia de mais de 20%, graças a tecnologias de controle de vazão e reaproveitamento (GBC BRASIL, 2025).

No aspecto dos materiais, mais de 50% da madeira utilizada é certificada pelo FSC (*Forest Stewardship Council*), e há prioridade no uso de materiais reciclados e regionais, reduzindo impactos ambientais e incentivando cadeias produtivas sustentáveis (GBC BRASIL, 2025).

#### **4.3.2 Museu do Amanhã, Rio de Janeiro – RJ**

Localizado na Praça Mauá, zona portuária do Rio de Janeiro, o Museu do Amanhã, como mostra a Figura 9, é um exemplo emblemático de arquitetura sustentável aplicada a um espaço cultural. Projetado pelo arquiteto espanhol Santiago Calatrava, o edifício foi inaugurado em 17 de dezembro de 2015 como parte do projeto de revitalização urbana “Porto Maravilha”, liderado pela Prefeitura do Rio de Janeiro em parceria com a Fundação Roberto Marinho.

Figura 9 – Museu do Amanhã



Fonte: Baratto, 2016.

A concepção do museu foi inspirada na forma das bromélias do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, resultando em um edifício com aproximadamente 15 mil metros quadrados de área construída, 20 metros de altura e 330 metros de comprimento. Além de sua expressiva estética arquitetônica, o projeto se destaca pelo compromisso com soluções sustentáveis que visam a eficiência energética, o uso consciente de recursos naturais e a redução dos impactos ambientais (MUSEU DO AMANHÃ, 2025).

Entre as estratégias adotadas, destaca-se o sistema de climatização que utiliza a água da Baía de Guanabara. A água é captada, utilizada pra resfriar os ambientes e, posteriormente, devolvida à baía sem causar danos ambientais, promovendo significativa economia de energia. A adoção de materiais locais, recicláveis e com menor impacto ambiental, como o aço reciclado e o concreto sustentável, contribuiu para a redução da pegada de carbono e o impacto ambiental durante a construção (EQUIPE CELERE, 2021).

Devido as essas práticas, o Museu do Amanhã conquistou a certificação LEED, nível Ouro, concedida pra *Green Building Council* (USGBC). Essa certificação internacional reconhece edificações que atendem a elevados padrões de desempenho ambiental e eficiência energética.

O projeto alia inovação tecnológica, responsabilidade socioambiental e valorização cultural, tornando-se um marco internacional de sustentabilidade na construção civil. Além de sua função educativa e expositiva, o museu atua como

espaço de conscientização ambiental, promovendo reflexões sobre os desafios e possibilidades do futuro do planeta.

#### 4.3.3 Casa MP, Cabreúva – SP

Um exemplo relevante de construção sustentável com o uso de tijolos ecológico como mostra a Figura 10, é a Casa MP, localizada em um condomínio residencial na cidade de Cabreúva - SP. Com 350 m<sup>2</sup> de área construída, o projeto adota um sistema construtivo híbrido, combinando tijolos solo-cimento, aço e concreto aparente, dentro de uma proposta arquitetônica de estilo brutalista e industrial.

Figura 10 – Casa MP



Fonte: Giantomasi, 2021.

O tijolo solo-cimento foi utilizado tanto como elemento estrutural quanto estético, reduzindo significativamente o impacto ambiental da construção. Por ser produzido sem queima, esse tipo de tijolo evita a emissão de gases poluentes e, por sua estrutura interna com furos, proporciona um alto desempenho termoacústico, reduzindo em até 5 °C a temperatura interna em relação ao ambiente externo. Além disso, o assentamento com cola especial, em vez de argamassa convencional, simplifica a obra e reduz o uso de materiais (TAGUÁ ARQUITETURA, 2021).

Outras práticas sustentáveis adotadas na construção incluem o sistema de captação e reuso de água da chuva, com cisterna conectada ao telhado, a instalação

de painéis de energia fotovoltaica, para suprimento energético, o uso extensivo de materiais pré-fabricados, o que resultou em drástica redução de entulho e resíduos no canteiro de obras e também a eliminação do reboco, devido à aplicação aparente do tijolo, que também favorece a estética natural da construção (TAGUÁ ARQUITETURA, 2021).

Esse conjunto de soluções torna a Casa MP um modelo de arquitetura contemporânea integrada à sustentabilidade, aliando estética, conforto térmico e responsabilidade ambiental.

#### 4.3.4 Pavilhão de bambu desdobrável, Paraty – RJ

Um exemplo notável de aplicação do bambu na construção civil sustentável, como mostra a Figura 11, é o Pavilhão de bambu desdobrável, desenvolvido para o Serviço Social do Comércio (SESC) e instalado na cidade de Paraty, no estado do Rio de Janeiro. Situado às margens do Rio Perequê-Açu e inserido em um ambiente natural caracterizado pela Mata Atlântica e pela proximidade do mar, o pavilhão foi concebido para funcionar como um espaço cultural e social aberto, sem fechamento lateral.

Figura 11 – Pavilhão de bambu desdobrável



Fonte: Dias, 2018.

A estrutura é composta por um sistema modular autoportante e leve, formada por elementos de bambu em conjunto com membranas acrílicas e conexões têxteis flexíveis, o que permite sua montagem e desmontagem com facilidade. O vão da cobertura atinge dimensões de 15 x 23 metros, utilizando barras de bambu que permanecem livres de torções, graças a articulações projetadas com biocompósitos e cabos de poliéster. Esses componentes permitem maior liberdade geométrica e possibilitam formas complexas e criativas (BAMBUTEC DESIGN, 2018).

## 5 CONCLUSÕES

Diante dos impactos ambientais expressivos gerados pela construção civil, torna-se cada vez mais urgente adotar práticas que priorizem a sustentabilidade em todo o ciclo de vida das edificações. Este trabalho evidenciou que o uso de materiais sustentáveis como o concreto reciclado, o tijolo ecológico, o bambu e o aço reciclado podem reduzir significativamente os danos ambientais ao mesmo tempo em que mantém o desempenho técnico, a durabilidade e a viabilidade econômica das construções.

Além dos benefícios ambientais, essas soluções construtivas também apresentam potencial social relevante. A adoção de materiais regionais e técnicas construtivas mais acessíveis pode promover o desenvolvimento de comunidades locais, gerando empregos, capacitação e autonomia produtiva. Materiais como o bambu e o tijolo ecológico, por exemplo, são frequentemente utilizados em projetos de habitação social, contribuindo para o acesso à moradia digna e sustentável.

A crescente conscientização ambiental e a busca por edificações mais eficientes indicam um cenário favorável, ainda que desafiador, para a consolidação da construção sustentável no Brasil. Certificações como LEED, AQUA-HQE, BREEAM e Casa Azul estabelecem parâmetros rigorosos que incentivam boas práticas ambientais e impulsionam a inovação no setor. Elas também reforçam a importância da eficiência energética, do reuso da água, da qualidade do ar interno e da escolha de materiais de menor impacto ambiental.

Entretanto, persistem barreiras importantes à ampla adoção dessas práticas, como o custo inicial elevado de algumas soluções sustentáveis, a falta de conhecimento técnico por parte de profissionais da área, a resistência do mercado por acreditar que os materiais sustentáveis possuem baixo desempenho e o desconhecimento do mercado consumidor quanto aos benefícios a médio e longo prazo. Muitas vezes, decisões são pautadas apenas pelo menor custo imediato, sem considerar a economia gerada ao longo do tempo com manutenção, energia e recursos naturais.

Nesse contexto, políticas públicas eficazes e incentivos governamentais desempenham papel central. É necessário investir em regulamentações específicas para materiais alternativos, ampliar linhas de financiamento voltadas à sustentabilidade e fomentar programas de capacitação profissional. Essas medidas

podem tornar as soluções sustentáveis mais acessíveis, além de fortalecer a cadeia produtiva nacional ligada à construção verde.

As edificações analisadas neste trabalho, como o Museu do Amanhã (RJ), o LLUM Batel (PR) e a Casa MP (SP), ilustram como a sustentabilidade pode ser incorporada de forma inteligente e estética na arquitetura contemporânea. Elas também demonstram que é possível integrar soluções com materiais sustentáveis sem comprometer o conforto e a funcionalidade dos espaços.

Como sugestão para estudos futuros, propõe-se a análise comparativa da eficiência energética e do aproveitamento de água em edificações sustentáveis, aspectos cada vez mais valorizados nos sistemas de certificação ambiental. Investigar como esses elementos influenciam o desempenho ambiental, o custo-benefício e a habitabilidade dos empreendimentos pode ampliar ainda mais o entendimento sobre o impacto positivo da sustentabilidade na construção civil.

Dessa forma, conclui-se que construir de forma sustentável não é apenas uma necessidade ambiental, mas uma oportunidade concreta de inovar, preservar recursos e promover qualidade de vida para as gerações presentes e futuras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. **Cimento de baixo carbono: inovação para a sustentabilidade da construção**. São Paulo: ABCIC, 2021.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. **O vidro e a sustentabilidade**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://abividro.org.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional e resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040: Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2014.

ABRAMAT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. **Relatório Setorial 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: [www.abramat.org.br](http://www.abramat.org.br). Acesso em: 08 mar. 2025.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011. Disponível em: [https://repositorio.usp.br/directbitstream/81c3bbde-b3d6-4c76-bfc6-d350dbab74af/Vahan\\_2011\\_desafio%20da%20sustentabilidade.pdf](https://repositorio.usp.br/directbitstream/81c3bbde-b3d6-4c76-bfc6-d350dbab74af/Vahan_2011_desafio%20da%20sustentabilidade.pdf). Acesso em: 25 abr. 2025.

AMORIM CORK. **Catálogo Técnico de Soluções em Cortiça para Construção**. São Paulo: Amorim Revestimentos, 2020.

ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Aproveitamento de resíduos de construção e demolição para produção de agregados reciclados**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 135–150, abr./jun. 2011.

ARCHDAILY. **Casa MP**. MPA Estúdio. ArchDaily Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/988925/casa-mp-mpa-estudio>. Acesso em: 21 maio 2025.

ASBEA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia de Materiais Sustentáveis na Arquitetura**. São Paulo: AsBEA, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO PVC. **Madeira plástica: inovação e sustentabilidade com resíduos reciclados**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Relatório de Atividades 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: [www.anm.gov.br](http://www.anm.gov.br). Acesso em: 22 fev. 2025.

BAMBUTEC DESIGN. **Pavilhão em bambu e biomateriais**. Design Bambutec, 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/903912/pavilhao-em-bambu-e-biomateriais-bambutec-design>. Acesso em: 20 maio 2025.

**BARAYA, Santiago**. Adobe: o material reciclável mais sustentável. ArchDaily Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/945393/adobe-o-material-reciclavel-mais-sustentavel>. Acesso em: 26 maio 2025.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais: Produção de Metais – Ferro e Aço**. Brasília: MCT, 2010. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil\\_mcti\\_ferro\\_aco.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil_mcti_ferro_aco.pdf). Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa: Produção de Cimento**. Brasília: MCT, 2010. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil\\_mcti\\_cimento.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/brasil_mcti_cimento.pdf). Acesso em: 7 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, 2018. Disponível em: [www.gov.br/mma](http://www.gov.br/mma). Acesso em: 17 fev. 2025.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022.

BRASIL. **Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)**. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Atualização 2019. Disponível em: <https://www.gov.br>.

BRITO, J. Z.; TRINDADE, C. A. **Compósitos madeira-plástico: tecnologia associada à sustentabilidade**. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/retrieve/3893beeb-048f-4474-ab3d-8c73a14e7c45/820.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum: relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Guia Selo Casa Azul + CAIXA**. Brasília: CAIXA, 2024. Disponível em: [https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo\\_casa\\_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf](https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf). Acesso em: 02 jun. 2025.

CAROLINA, J. S. **Revisão bibliográfica sobre a incorporação dos resíduos de vidro em matrizes cimentícias**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Construção sustentável: a mudança em curso**. Brasília: CBIC, 2017. Disponível em:

<https://www.cbic.org.br/sustentabilidade/wp-content/uploads/sites/22/2017/10/Caderno-Setorial-CBIC-CNI-Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 22 mar 2025.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Panorama dos resíduos recicláveis no Brasil**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cempre.org.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Eficiência energética e sustentabilidade na indústria do aço**. Brasília: CNI, 2020.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Brasília, 2021.

CONCEIÇÃO, M. F. **Certificação LEED e seus impactos na construção sustentável brasileira**. Revista de Engenharia Verde, v. 5, n. 2, p. 112-129, 2021.

**CONSTRUTORA LAGUNA**. Mais eficiente do Brasil, empreendimento de luxo no Batel é entregue antes do prazo. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://blog.construtoralaguna.com.br/construtora/construtora-laguna/mais-eficiente-do-brasil-empreendimento-de-luxo-no-batel-e-entregue-antes-do-prazo> .Acesso em: 03 jun. 2025.

COTS, P. R. R. **Panorama brasileiro das certificações ambientais na construção civil: desafios e propostas para o avanço do desenvolvimento sustentável**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2024.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

**DECOREXPRO**. Piso de cortiça. tipos e características. Disponível em: <https://interior.decorexpro.com/pt/probkovyy-pol-65-foto-882>. Acesso em: 26 maio 2025.

DIAS, J. **Pavilhão de estrutura de bambu**. Design Bambutec, 2018. Disponível em: [https://www.archdaily.com/903971/deployable-bamboo-structure-pavilion-bambutecdesign/5bc541fff197cc171200042f-deployable-bamboost-structure-pavilion-bambutec-design-photo?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/903971/deployable-bamboo-structure-pavilion-bambutecdesign/5bc541fff197cc171200042f-deployable-bamboost-structure-pavilion-bambutec-design-photo?next_project=no). Acesso em: 17 maio 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bambu: alternativa ecológica para recuperação de áreas e construção sustentável**. Brasília: Embrapa Florestas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

EQUIPE CELERE. **Detalhes da construção do Museu do Amanhã**. setembro, 2021. Disponível em: <https://celere-ce.com.br/grandes-obras/museu-do-amanha/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE: Construção Sustentável no Brasil**. São Paulo, 2019.

GBC BRASIL. **Compreenda o LEED**. Green Building Council Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>. Acesso em: 02 maio 2025.

GBC BRASIL. Edifício de Curitiba é considerado o projeto sustentável do ano pela USGBC – Casa e Jardim Green Building Council Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/midia/edificio-de-curitiba-e-considerado-o-projeto-sustentavel-do-ano-pela-usgbc-casa-e-jardim>. Acesso em: 03 jun. 2025.

GBC BRASIL. **LEED v4 para Projeto e Construção de Edifícios: Guia de Referência**. Green Building Council Brasil, 2014. Disponível em: [https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/08/LEED\\_v4\\_BDC\\_10\\_01\\_14\\_PT\\_3\\_24\\_17.pdf](https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/08/LEED_v4_BDC_10_01_14_PT_3_24_17.pdf). Acesso em: 22 abr. 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIRALDELLI, M. A. et al. **Técnica de alvenaria adobe: reprodução do método construtivo tradicional**. Uniciências, v. 25, n. 1, p. 10–13, 2021. Disponível em: <https://uniciencias.pgsscogna.com.br/uniciencias/article/download/8932/5897>. Acesso em: 14 maio 2025.

GONÇALVES, E. C.; MENDES, J. M. **Aplicações do aço reciclado na construção civil: vantagens e desafios**. Revista Brasileira de Construção Sustentável, v. 4, n. 2, p. 65–78, 2019.

GONÇALVES, O. M. **Construção sustentável: certificações ambientais e eficiência energética**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

GRÜNBERG, P. R. M.; MEDEIROS, M. H. F.; TAVARES, S. F. **Certificação ambiental de habitações: comparação entre LEED for Homes, Processo AQUA e Selo Casa Azul**. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 1–22, jul./set. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/bFHJBYdDxsHcGyKRxmxJyxt/>. Acesso em: 12 mar 2025.

**IMOBILIS MADEIRAS**. Por que escolher a madeira plástica para o seu deck ou cerca? Disponível em: <https://imobilismadeiras.com.br/por-que-escolher-a-madeira-plastica-para-o-seu-deck-ou-cerca/>. Acesso em: 26 maio 2025.

INP – Instituto Nacional do Plástico. **Panorama dos resíduos plásticos no Brasil**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.inp.org.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2021**. Brasília: IAB, 2021. Disponível em: <https://acobrasil.org.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Cement Technology Roadmap 2021**. Paris: IEA, 2021.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Sustentabilidade e políticas públicas no Brasil: avanços e desafios**. Brasília, 2022.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Tecnologias sustentáveis na construção civil**. Brasília: IPEA, 2021.

JOHN, V. M. **Materiais de Construção e o Meio Ambiente**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://prp.usp.br/wp-content/uploads/sites/277/2017/05/VMJOHN-Materiais-e-o-meio-ambiente-2017-09-30-1.pdf>. Acesso em: 24 maio 2025.

KFOURI, A. J. C. **Avaliação de ciclo de vida e as certificações ambientais para edifícios no Brasil**. Monografia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

LEITE, V. F. **Certificações ambientais na construção civil: sistemas LEED e AQUA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LESCO. **Madeira plástica x madeira natural: qual a melhor opção?** 2025. Disponível em: <https://lesco.com.br/madeira-plastica-x-natural/>. Acesso em: 17 maio 2025.

MATUTI, B. B.; SANTANA, G. P. **Reutilização de resíduos de construção civil e demolição na fabricação de blocos cerâmicos: uma revisão**. Scientia Amazonia, v. 8, n. 1, p. E1–E13, 2019. Disponível em: <https://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/11/v.-8-n.1-E1-E13-2019.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2025.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Brasília: MMA, [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 02 maio 2025.

MORAES, M. C. **Avaliação do descarte de rolhas de cortiça e alternativa de reutilização como carvão ativado para remoção de corantes**. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

MUSEU DO AMANHÃ. **Sobre o Museu**. Rio de Janeiro: Museu do Amanhã. Disponível em: <https://museudoamanha.org.br/o-museu/sobre-o-museu>. Acesso em: 21 maio 2025.

NUNES, G. M.; JÚNIOR, A. S. S.; PASTOR, J. S. **O uso do bambu como material estrutural na construção civil**. Revista Principia, n. 55, p. 153-163, João Pessoa, 2021

OLIVEIRA, N. D. A.; ALEIXO, A. D.; SILVA, S. A.; BORITZA, O. R.; RIBAS, J. D. **Práticas sustentáveis aplicadas ao setor da construção civil: importância, perspectivas e benefícios**. European Academic Research, v. VIII, n. 4, p. 2345–2380, jul. 2020. Disponível em: <https://euacademic.org/UploadArticle/4463.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

ONU MEIO AMBIENTE. **Global Status Report for Buildings and Construction**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022. Disponível em: [www.unep.org](http://www.unep.org). Acesso em: 14 fev. 2025.

OSSE, V. C.; MEIRELLES, C. R. M. **O potencial do bambu na minimização dos problemas climáticos nos espaços urbanos**. Revista Labverde, n. 3, p. 37-53, São Paulo, 2011.

PINTO, B. R. **Desempenho térmico e mecânico de alvenaria de adobe ativado alcalinamente e reforçado com fibra de sisal**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

PROPEQ. Reciclagem de vidro: geração de renda e sustentabilidade. Disponível em: <https://propeq.com/reciclagem-de-vidro-geracao-de-renda-e-sustentabilidade/>. Acesso em: 26 maio 2025.

REIS, L. V.; SILVA, E. P. **O uso do bambu como solução construtiva sustentável: experiências no Brasil**. Revista Arquitetura e Urbanismo Sustentável, v. 5, n. 2, p. 40–53, 2017.

SANTOS, C. M. et al. **Estudo da influência de parâmetros de processo na produção de tijolo de solo-cimento**. Cerâmica Industrial, v. 28, n. 1, e162801, 2023. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2024.025/pdf/ci-28-1-e162801.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

SANTOS, L. V.; SILVA, D. F. **Conforto térmico em edificações construídas com adobe: análise experimental**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 83–96, 2019.

SANTOS, S. C.; COSTA, S. K. **Arquitetura vernacular ou popular brasileira: conceitos, aspectos construtivos e identidade cultural local**. Revista LABVERDE, v. 24, n. 35, p. 218–233, 2017.

SANTOS, V. D.; MENDES, L. M. **Aplicação de fibras vegetais em habitações sustentáveis: experiências e desafios no contexto brasileiro**. Revista Arquitetura Sustentável, v. 4, n. 2, p. 23–36, 2020.

SERAGUSA, F. **Feito com cimento, tijolo ecológico garante economia e sustentabilidade às obras**. Cimento Itambé, 2024. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/feito-com-cimento-tijolo-ecologico-garante-economia-e-sustentabilidade-as-obras/>. Acesso em: 26 maio 2025.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. **Desafios para o concreto sustentável**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, Brasília, v. 7, n. 17, p. 1533-1541, 2020. Disponível em: <https://revista.ecogestaobrasil.net/v7n17/v07n17a32.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SILVA, L. E. **O custo do certificado ambiental selo Casa Azul em um projeto residencial unifamiliar.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2017.

SILVA, R. V.; CASCUDO, O. A. N. **Influência de agregados reciclados de concreto nas propriedades do concreto novo.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 7, n. 5, p. 714–733, 2014.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Inventário nacional das emissões de CO<sub>2</sub> da indústria do cimento.** Brasília: SNIC, 2021.

SOUZA, B. C.; PAES, C. N. S.; BARBOZA, L. S. **Estudo do agregado graúdo reciclado de concreto como agente de cura interna.** Revista Matéria, v. 25, n. 4, p. e12869, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/347822824\\_Estudo\\_do\\_agregado\\_graudo\\_reciclado\\_de\\_concreto\\_como\\_agente\\_de\\_cura\\_interna](https://www.researchgate.net/publication/347822824_Estudo_do_agregado_graudo_reciclado_de_concreto_como_agente_de_cura_interna). Acesso em: 24 maio 2025.

TESSARO, A.; MATHIES, E. L. A.; TRINDADE, G. H. **Influência da adição de resíduos de construção civil como agregado no concreto.** Revista Ciência e Sustentabilidade, Juazeiro do Norte, v. 8, n. 1, p. 46-69, 2024.

UGREEN. **Certificação BREEAM: alcançando a sustentabilidade em edifícios.** Curitiba: UGREEN, 2022. Disponível em: <https://ugreen.io/global-sustainable-building-standards-the-benefits-of-breem-certification/>. Acesso em: 03 maio 2025.

UGREEN. **O bambu e seu uso em construções sustentáveis.** Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/bambu/>. Acesso em: 26 maio 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE. **Gestão de Resíduos da Construção Civil e Reaproveitamento de Materiais: Um Estudo de Caso no Recife.** Recife, 2020. Disponível em: [www.ufpe.br](http://www.ufpe.br). Acesso em: 29 jan. 2025.

VERDIANI, V. B. et al. **Visão geral sobre o processo de coprocessamento na indústria do cimento.** Ambiente Construído, v. 25, n. 1, p. 1–15, jan./mar. 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/8bWkNsws4SrRkhCDZbDvhXS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 maio 2025.

WEBER, E.; CAMPOS, R. F. F.; BORGA, T. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil.** Ignis, v. 6, n. 2, p. 18-34, mai./ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/download/1178/706/5246>. Acesso em: 3 jun. 2025.