

## A construção do amanhã: materiais e técnicas construtivas sustentáveis para um setor mais verde

### *The construction of tomorrow: sustainable construction materials and techniques for a greener sector*

#### Resumo

A construção civil é um dos setores que mais impactam o meio ambiente devido ao elevado consumo de recursos naturais e à intensa geração de resíduos. Este estudo teve como objetivo analisar alternativas sustentáveis aplicáveis ao setor e comparar seu desempenho nas dimensões ambiental, econômica e social. A pesquisa, de natureza qualitativa e bibliográfica, examinou materiais como telhas ecológicas, madeira plástica, bambu e vidro reciclado, tomando como referência obras e relatórios nacionais e internacionais sobre construção sustentável. Os resultados indicaram que todas as alternativas contribuem para a redução dos impactos ambientais e para o fortalecimento da economia circular; contudo, o bambu destacou-se por seu elevado potencial de descarbonização e por apresentar maior retorno ambiental no curto prazo. Identificaram-se ainda barreiras como custos iniciais, limitações técnicas e resistências culturais que dificultam a adoção dessas tecnologias. Conclui-se que, apesar dos desafios, a incorporação de materiais sustentáveis é imprescindível para o avanço da engenharia civil em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Construção Civil; Materiais Ecológicos.

#### Abstract

*Civil construction is one of the sectors that most affects the environment due to its high consumption of natural resources and significant generation of waste. This study aimed to analyze sustainable alternatives applicable to the sector and compare their performance across environmental, economic, and social dimensions. This qualitative and bibliographic research examined materials such as ecological roof tiles, plastic wood, bamboo, and recycled glass, based on national and international studies and reports on sustainable construction. The results indicated that all alternatives contribute to reducing environmental impacts and strengthening the circular economy; however, bamboo stood out for its high decarbonization potential and greater short-term environmental return. The study also identified barriers such as initial costs, technical limitations, and cultural resistance that hinder the adoption of these technologies. It is concluded that, despite these challenges, the incorporation of sustainable materials is essential for advancing civil engineering toward the Sustainable Development Goals (SDGs).*

**Keywords:** Sustainability; Civil Construction; Ecological Materials.

## 1.Introdução

Nas últimas décadas, o debate sobre sustentabilidade tem se intensificado diante dos impactos ambientais causados pela ação humana e do crescimento acelerado das cidades. Nesse contexto, a engenharia civil emerge como um dos setores mais desafiados a repensar seus modelos produtivos e construtivos, uma vez que é responsável por grande parte do consumo de recursos naturais, geração de resíduos e emissão de gases de efeito estufa. De acordo com o United Nations Environment Programme (UNEP, 2016), a construção civil consome cerca de 40% da energia mundial e responde por aproximadamente 30% das emissões globais de dióxido de carbono, evidenciando sua relevância nas discussões sobre desenvolvimento sustentável e mitigação das mudanças climáticas.

A busca por uma construção mais verde e eficiente exige a adoção de materiais e técnicas construtivas sustentáveis, capazes de reduzir impactos ambientais e promover o uso racional dos recursos naturais. Essa transformação envolve tanto a inovação tecnológica quanto a mudança de mentalidade no setor, direcionando esforços para práticas que conciliem progresso econômico, responsabilidade social e preservação ambiental. Conforme Elkington (1997), o conceito de sustentabilidade baseia-se na integração dos três pilares do triple bottom line — econômico, social e ambiental —, que devem coexistir de forma equilibrada para garantir o bem-estar das gerações atuais e futuras.

No âmbito da engenharia civil, essa integração significa adotar soluções construtivas que reduzam o consumo de energia, minimizem o desperdício de materiais e utilizem fontes renováveis sempre que possível. Práticas como o emprego de materiais recicláveis, o reaproveitamento de águas pluviais, a instalação de painéis solares e a utilização de concreto ecológico têm se mostrado alternativas viáveis e eficazes para a redução dos impactos ambientais (Kibert, 2016). Além disso, certificações como o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e o AQUA-HQE têm contribuído para consolidar parâmetros de qualidade e sustentabilidade nas edificações, reforçando a importância da responsabilidade ambiental nas etapas de planejamento, execução e manutenção das obras.

Contudo, a incorporação dessas práticas sustentáveis ainda enfrenta barreiras significativas. Segundo Gonçalves e Duarte (2012), muitos empreendimentos esbarram em fatores econômicos, culturais e na falta de regulamentações específicas que incentivem a adoção de soluções verdes. Soma-se a isso a resistência de parte do setor da construção, que, por vezes, associa a sustentabilidade a um aumento de custos, ignorando os benefícios de longo prazo, como a economia de energia, a valorização imobiliária e a redução de impactos ambientais.

De outro lado, há avanços expressivos impulsionados por políticas públicas e legislações ambientais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabelece diretrizes para o descarte e reaproveitamento de resíduos, e pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que, por meio dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), reforça o compromisso global com a construção de cidades e comunidades mais sustentáveis. O ODS 11, em especial, propõe tornar os espaços urbanos mais inclusivos, resilientes e ambientalmente responsáveis — meta que depende diretamente de inovações na engenharia civil.

Segundo Sachs (2008), a sustentabilidade deve ser compreendida como um processo integrado, que articula justiça social, prudência ecológica e eficiência econômica. Nesse sentido, as técnicas construtivas sustentáveis representam um caminho promissor para equilibrar o desenvolvimento urbano com a preservação do meio ambiente, promovendo também inclusão social por meio de moradias mais acessíveis e eficientes. A adoção de novas tecnologias construtivas, como o uso de blocos ecológicos, madeiras de reflorestamento, tintas à base de água e sistemas de isolamento térmico natural, exemplifica como a engenharia pode contribuir para uma transformação real na forma de construir e habitar o mundo.

Diante desse cenário, torna-se imprescindível refletir sobre como os materiais e técnicas construtivas sustentáveis podem transformar o futuro da construção civil, reduzindo impactos ambientais e promovendo o equilíbrio entre inovação e responsabilidade socioambiental. Assim, o presente estudo propõe investigar o tema “A construção do amanhã: materiais e

técnicas construtivas sustentáveis para um setor mais verde”, buscando compreender as estratégias que vêm sendo implementadas e seus efeitos na prática profissional e ambiental.

Nesse sentido, o problema central desta pesquisa consiste em responder à seguinte questão: de que maneira a aplicação de materiais e técnicas construtivas sustentáveis pode contribuir para tornar o setor da construção civil mais verde e ambientalmente responsável, sem comprometer a viabilidade econômica dos empreendimentos?

O objetivo geral é analisar a importância da sustentabilidade na engenharia civil, com ênfase nos materiais e técnicas construtivas que favorecem a transição para um setor mais ecológico e eficiente. Como objetivos específicos, pretende-se: Identificar os principais materiais e tecnologias sustentáveis aplicáveis à construção civil contemporânea; Investigar as vantagens ambientais, sociais e econômicas decorrentes da adoção dessas práticas; Analisar os desafios e oportunidades na implementação de projetos sustentáveis no contexto brasileiro; Discutir o papel das políticas públicas e certificações ambientais na consolidação de um setor construtivo mais verde e inovador.

O estudo adota abordagem qualitativa, detalhada na seção de metodologia. A metodologia tem como propósito analisar e discutir os principais conceitos, materiais e técnicas construtivas sustentáveis aplicadas à engenharia civil, com foco em identificar práticas inovadoras e seus impactos ambientais, sociais e econômicos.

A coleta de dados foi realizada a partir de fontes secundárias, incluindo artigos científicos, livros, relatórios técnicos, legislações, normas ambientais e documentos institucionais. As bases de dados consultadas compreenderam o Google Acadêmico, Scielo, ScienceDirect e bases da ONU, priorizando publicações entre os anos de 2000 e 2024.

Foram selecionados autores de referência, como John (2000), Elkington (1997), Kibert (2016), Sachs (2008), Gonçalves e Duarte (2012), entre outros, que abordam a sustentabilidade na construção civil sob diferentes perspectivas teóricas e práticas. A análise dos materiais foi feita por meio de leitura crítica e comparativa, buscando identificar convergências e divergências entre os estudos, bem como as tendências atuais do setor.

Portanto, compreender e aplicar os princípios da sustentabilidade na engenharia civil é um passo fundamental para a construção do amanhã, pautada em inovação tecnológica, responsabilidade ambiental e compromisso social. Somente a partir dessa integração será possível garantir que o desenvolvimento urbano ocorra de forma ética, equilibrada e em harmonia com os limites ecológicos do planeta.

### **1.1(Impacto ambiental da construção civil)**

Como pontuado por Corrêa (2009), a construção civil teve sua origem com a função de suprir as urgências básicas do homem, sem uma preocupação com técnicas aprimoradas, entretanto, é uma característica do ser humano a evolução de construir e atualizar suas habilidades. Esse desenvolvimento, motivado pelo nascimento das cidades, obrigou o aperfeiçoamento contínuo do setor em busca de técnicas mais atualizadas, vantajosas e por fim sustentáveis, gerando no final a definição de edificação com responsabilidade social que vemos nos dias atuais.

Na construção civil, as modificações promovidas pela atividade humana no ambiente podem levar a um desequilíbrio no ecossistema, culminando assim em impermeabilização do solo, redução das áreas verdes, restrição à passagem de ar, alterações visuais na paisagem, modificações de relevos e desvalorização de terras, principalmente em decorrência de poluição sonora, e diversas outras consequências (Spadotto et al., 2012).

Com base nos avanços acumulados pelo conhecimento científico até então disponível, aproximadamente dois séculos e meio atrás surgiu a chamada “Sociedade Industrial”. Esse período foi marcado pelo aumento significativo da expectativa média de vida humana e pelo crescimento populacional em escala global, multiplicando-se por seis. Como resultado, a demanda por infraestrutura, moradia e utilização de recursos naturais atingiu patamares inéditos, exercendo pressão sobre o meio ambiente. Hoje, indivíduos com um padrão de vida médio usufruem de níveis de conforto superiores aos dos monarcas da Idade Feudal (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Apesar da atenção voltada principalmente à preservação da Amazônia, o conceito de sustentabilidade não deve se restringir às florestas. Como defendem Agopyan e John (2011), atitudes cotidianas, muitas vezes negligenciadas, também influenciam o equilíbrio ambiental.

Nas últimas décadas, consolidou-se uma cultura crescente de discussões sobre sustentabilidade aplicada ao desenvolvimento humano. Estudos científicos têm demonstrado que fenômenos como o aquecimento global, impulsionado pela emissão de gases de efeito estufa são consequências diretas das intervenções humanas no planeta. Atualmente, reconhece-se que o ser humano é parte integrante da natureza, sendo diretamente afetado em seu conforto e na sua permanência no planeta. Entre os diversos campos de estudo que ganham relevância, a sustentabilidade tem ocupado um espaço sem precedentes, especialmente na engenharia civil, considerada uma das atividades econômicas mais poluentes (JOHN, 2000).

## **1.2 Necessidade de práticas sustentáveis no setor.**

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2024), em seu Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, foram computadas 44 milhões de toneladas de Resíduos da Construção e Demolição (RCD). Nesse contexto, a poluição gerada, aliada à falta de tratamento adequado desses resíduos, afeta diretamente a qualidade de vida do ser humano, podendo ser citados a qualidade do ar e a emissão de CO<sub>2</sub> derivados dos caminhões de transporte, e de maneira indireta, contribuindo para a degradação gradual do clima do planeta. Diante desse cenário, a gestão de todos esses resíduos tem se tornado cada vez mais importante nas etapas de uma construção, contemplando o descarte correto do rejeito e a reciclagem desses materiais, conforme destacam Nascimento, Moraes e Lopes (2022).

Diante desse panorama, as alternativas sustentáveis têm se tornado cada vez mais imprescindíveis. Corrêa (2009) já apontava que muito disso se dá por causa da cobrança de investidores e dos clientes finais. Cada construção, atualmente, deve considerar um controle eficaz de resíduos, uma gestão consciente de matérias-primas, entre outras técnicas que minimizem os impactos ao meio ambiente, sejam economicamente viáveis e, de maneira

geral, socialmente aceitas. Nesse contexto, a ISO 9001 (Sistemas de Gestão da Qualidade) é buscada pelas empresas com a finalidade de obter destaque no mercado por meio da padronização de processos e da garantia de qualidade. Da mesma forma, destaca-se a ISO 14001 (Sistemas de Gestão Ambiental), que fornece uma estrutura para o estabelecimento de uma política ambiental e de objetivos que visam à eficiência no uso de recursos e à conformidade com a legislação ambiental, conferindo maior competitividade, conforme encontrado na UNIFASC (2022).

Corrêa (2009) afirma que, nas fases construtivas, há um grande número de perdas de materiais utilizados e, nas reformas, isso se deve, em grande parte, à ausência de uma cultura voltada para o máximo aproveitamento e redução de desperdícios, situação que representa grande impacto. Em países como Japão e Estados Unidos, o reaproveitamento dos resíduos já é estruturado e incorporado ao processo construtivo, enquanto no Brasil essa prática ainda é limitada tendo uma alta quantidade de descartes irregulares ainda. Entretanto, cidades como São Paulo e Belo Horizonte vêm implementando soluções voltadas para a minimização da poluição e dos impactos da construção civil, com a construção de usinas de beneficiamento de resíduos da construção e demolição (RCD) capazes de processar até 100 toneladas de resíduos por hora, sendo elas parte de programas de recuperação de áreas afetadas pelo descarte ilegal de entulhos, nos quais os materiais são recolhidos, levados às usinas, reciclados e transformados em agregados para construção civil, com aplicações em obras de infraestrutura e pavimentações, conforme documentou Corrêa (2009) em experiências das cidades de São Paulo e Belo Horizonte.

### **1.3 Relatório e reuniões importantes para a sustentabilidade.**

Baseado no que foi apurado por Vaghetti, Santos e Uliana (2021), desde a década de 70 as problemáticas ambientais já tiveram a necessidade de reuniões e encontro entre nações para discutirem o tema. “Pobreza e Industrialização” foram um dos principais apontamentos levados para a reunião de Estocolmo, em 1972, chamada de “ Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano” , naquela época foi colocado que o desenvolvimento econômico foi crucial para mudança dessa situação.

Na década seguinte, sendo impulsionado pelas tratativas anteriores, na Noruega foi criado o relatório que deu origem ao primeiro conceito de sustentabilidade, que é a base até os dias atuais, “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. Gro Harlem Brundtland e cientistas de diversas áreas, desenvolveram o conhecido relatório de brundtland de 1987, como apresentado por Mageste (2023).

Já nos anos 90 aconteceu a Rio 92, foi considerada a primeira na cidade do Rio de Janeiro, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Os temas de debate traziam, os já discutidos em Estocolmo e Ideias como: a Junção do meio ambiente as políticas de desenvolvimento, ideia de sustentabilidade em igualdade com o espaço-tempo e a união entre o meio ambiente e o avanço econômico sempre estando lado a lado, como apresentado por Machado (2005).

Dois anos após a virada do século, na África do Sul surgia a Rio +10, um encontro que teve como objetivo a de analisar todas as propostas já em vigor e apresentar possíveis adições em algumas delas, que devido ao tempo apresentavam termos ou a falta de condições mais atualizadas. Algumas das atualizações feitas se apoiavam em pegar as propostas de sustentabilidade referente a energia e torná-las mais acessíveis a qualquer público, buscando assim uma maior aceitação, Também citava o acesso a uma água potável e seu devido escoamento após seu uso, como foi trago por Diniz (2014).

No ano de 2012, aconteceu a continuação da reunião “Rio”, chamada de “Rio +20”, acontecendo pela segunda vez a Convenção da Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Nela foi criado “O Futuro que Queremos” um livro de iniciativas que buscam a colocação de práticas mais voltadas para as áreas econômicas, tendo um foco na extinção da desigualdade financeira social. (Santos; Medeiros, 2020).

Em 2015, na COP-21, foi assinado o acordo de paris que teve um foco na diminuição do Gás carbônico atribuída pela liberação de “Gases do efeito estufa”(GEE), diante de um cenário que, se nada fosse feito causaria um rompimento da camada de ozônio gerando um descontrole na temperatura ambiental. (Rei; Souza; Goncalves, 2018).

Já a COP-28, na cidade de Dubai em 2023, retoma ao tema da diminuição de GEE, agora estudando os desenvolvimentos, até então alcançados e os impasses enfrentados para implementação. Esta reunião também considerou novas ideias colocadas em pautas pelos países participantes, como exemplo: a limpeza e destinação dos GEE. (Macedo; Araújo; Andrade; Correa, 2024).

#### **1.4 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é analisar a importância da sustentabilidade no âmbito da engenharia civil, destacando seus impactos ambientais, sociais e econômicos, bem como as práticas e estratégias adotadas para promover construções mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Busca-se compreender como os princípios sustentáveis podem ser incorporados às diferentes etapas do processo construtivo, desde o planejamento e a escolha de materiais até a execução e manutenção das edificações. Além disso, pretende-se discutir os desafios enfrentados pelo setor, como a resistência cultural, os custos iniciais e a necessidade de regulamentações mais efetivas, bem como apontar caminhos que possam contribuir para a consolidação de uma engenharia civil alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

#### **2. Metodologia**

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória e delineamento bibliográfico, tendo como objetivo analisar criticamente materiais e técnicas construtivas sustentáveis aplicáveis à construção civil. A abordagem adotada fundamenta-se na interpretação e sistematização do conhecimento já consolidado na literatura científica, permitindo identificar tendências, benefícios e limitações das soluções estudadas.

A coleta de dados foi realizada a partir de fontes secundárias, incluindo artigos científicos, livros, relatórios técnicos, normas e documentos institucionais. Foram consultadas bases como Google Acadêmico, Scielo, ScienceDirect e organismos internacionais, priorizando publicações entre os anos de 2000 e 2024.

A seleção das fontes obedeceu a critérios de: (i) relevância científica, (ii) aderência ao tema da construção sustentável, (iii) recorrência na literatura especializada e (iv) consistência metodológica. Foram priorizados trabalhos publicados em periódicos indexados, documentos técnicos reconhecidos e autores de referência, sendo excluídas fontes com baixa fundamentação científica ou pouca relação direta com o objeto de estudo.

Para garantir maior rigor analítico, foram definidos critérios comparativos aplicados às alternativas estudadas — telhas ecológicas, madeira plástica, bambu e vidro reciclado —, a saber: impacto ambiental, desempenho técnico, viabilidade econômica e aplicabilidade na construção civil. Esses critérios permitiram estruturar uma análise sistemática, reduzindo a subjetividade e possibilitando a identificação de convergências, limitações e hierarquias de desempenho entre os materiais.

A análise dos dados foi conduzida por meio de leitura crítica e comparativa da literatura, buscando não apenas descrever as características dos materiais, mas também estabelecer relações entre seus desempenhos e suas contribuições para a sustentabilidade no setor. Optou-se pela não realização de coleta de dados empíricos, uma vez que o objetivo do estudo consiste na consolidação teórico-analítica do estado da arte, bem como na proposição de uma análise comparativa fundamentada.

Dessa forma, a metodologia adotada permite uma compreensão estruturada das alternativas sustentáveis na construção civil, contribuindo para o fortalecimento do debate acadêmico e para a identificação de diretrizes aplicáveis à prática profissional.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Telhas Ecológicas**

As telhas ecológicas de papel reciclado configuram-se como uma alternativa relevante para a redução de resíduos sólidos e fortalecimento da economia circular. Conforme Lessa (2009), sua produção integra papel reciclado, água e mistura asfáltica, envolvendo etapas de trituração, moldagem e secagem que são relativamente simples e de baixo impacto.

Os resultados mostram que, embora sua vida útil média seja de cerca de 15 anos (Casagrande, 2021), as telhas ecológicas apresentam bom desempenho em construções habitacionais e comerciais leves

devido à baixa massa, flexibilidade e custo competitivo. Do ponto de vista ambiental, sua principal contribuição está na redução de resíduos e no baixo consumo energético para produção, alinhando-se às metas de sustentabilidade discutidas no estudo. No entanto, ainda enfrentam desafios relacionados à resistência mecânica limitada e à pouca disseminação em mercados de grande escala.

### 3.2 Madeira Plástica

A madeira plástica apresenta vantagens significativas em termos de durabilidade e baixa necessidade de manutenção, o que resulta em economia de longo prazo. Segundo Cabral et al. (2016), sua composição — metade proveniente de resíduos plásticos e serragens descartadas, e metade formada por fibras vegetais e aditivos — evidencia seu potencial como material estratégico para reduzir a disposição de resíduos poliméricos no meio ambiente.

Os resultados revelam que, apesar de sua resistência ser inferior à da madeira natural (7,395 MPa em tração e 12,835 MPa em compressão), suas propriedades físico-químicas garantem excelente desempenho em aplicações decorativas e estruturais leves, como revestimentos ripados e decks impermeáveis. Essa durabilidade e a quase inexistência de manutenção colocam a madeira plástica como uma alternativa sustentável com forte apelo econômico e ambiental.

Entretanto, assim como destacado no *Resumo* e reforçado na *Conclusão*, seu principal obstáculo é o alto custo inicial e a concentração da produção em grandes centros urbanos, o que limita sua popularização.

### 3.3 Bambu

O bambu apresentou os resultados mais expressivos entre os materiais analisados, configurando-se como o elemento com maior potencial de mitigação ambiental — aspecto enfatizado no *Resumo* como achado comparativo relevante. Por possuírem rápido crescimento, renovação anual e grande captura de carbono, os bambuzais representam uma alternativa de alta eficiência para descarbonização, vantagem destacada em estudos internacionais e confirmada pelos dados de Carboni et al. (2017).

Suas propriedades mecânicas — 113 MPa em tração, 51,83 MPa em compressão e módulo de elasticidade de 22,5 GPa — o colocam acima de muitos materiais convencionais em determinadas aplicações. A literatura (Camargo & Pereira, 2021) demonstra seu desempenho robusto em pilares, telhados e pisos, com destaque para sua leveza, resistência dinâmica e propriedades de isolamento térmico.

Além dos benefícios ambientais e estruturais, o bambu apresenta forte impacto social e econômico: exige menor energia de processamento, favorece a agricultura familiar e pode ser utilizado em sistemas construtivos de baixo custo. Esses resultados sustentam a afirmação feita na *Conclusão* de que o bambu ocupa posição privilegiada na hierarquia de alternativas sustentáveis estudadas.

### 3.4 Vidro como agregado miúdo

O vidro reciclado tem se destacado como uma alternativa sustentável ao agregado miúdo convencional, como a areia natural, principalmente diante da crescente pressão ambiental sobre a extração de recursos naturais e da necessidade de redução da geração de resíduos sólidos urbanos. Estima-se que, globalmente, milhões de toneladas de vidro pós-consumo são descartadas anualmente, sendo parte significativa encaminhada a aterros sanitários, o que reforça a importância de sua valorização na construção civil (SANTOS et al., 2022).

O aproveitamento do vidro como agregado miúdo contribui diretamente para a economia circular, reduzindo a extração de areia natural de rios, que é uma atividade altamente degradante para os ecossistemas aquáticos, além de diminuir a demanda por aterros e os impactos associados à disposição inadequada de resíduos sólidos (ALMEIDA; COSTA, 2023). O vidro triturado, quando adequadamente processado, apresenta granulometria e forma angular compatíveis com o uso em concretos e argamassas, oferecendo propriedades físicas favoráveis à trabalhabilidade, à coesão e à resistência mecânica (LOPES; FERREIRA, 2021).

No entanto, a utilização do vidro em substituição à areia natural exige cuidados técnicos. Um dos principais desafios é a ocorrência da reação álcali-agregado (RAA), fenômeno que provoca expansão e fissuração em concretos ao longo do tempo devido à interação entre álcalis do cimento e sílica presente no vidro. Estudos demonstram que a moagem do vidro em partículas menores que 1 mm ou o uso de vidros tratados com aditivos minerais pode mitigar significativamente esse risco, permitindo a substituição parcial de areia sem comprometer a durabilidade do material (RODRIGUES et al., 2023; PEREIRA; SOUZA, 2022).

Além da resistência mecânica, o vidro confere propriedades estéticas diferenciadas, sendo capaz de gerar concretos translúcidos ou coloridos, o que amplia as possibilidades arquitetônicas e decorativas. Em aplicações não estruturais, como revestimentos, pavimentos e elementos paisagísticos, o vidro reciclado agrega valor visual e ambiental, alinhando inovação tecnológica à sustentabilidade (SANTOS et al., 2022).

Do ponto de vista ambiental, a substituição parcial da areia natural pelo vidro reciclado reduz a pegada de carbono da construção civil. Pesquisas de ACV (Análise de Ciclo de Vida) indicam que o transporte e a britagem do vidro apresentam menor consumo energético comparado à extração, transporte e beneficiamento da areia convencional, resultando em menor emissão de gases de efeito estufa (ALMEIDA; COSTA, 2023; RODRIGUES et al., 2023).

Economicamente, o vidro reciclado como agregado miúdo também apresenta vantagens. A integração de resíduos sólidos urbanos na cadeia produtiva cria oportunidades de desenvolvimento de tecnologias de processamento, como britagem, peneiramento e separação por cores, gerando empregos locais e fortalecendo a economia circular. Além disso, o custo do vidro triturado, muitas vezes, é inferior ao da areia natural em regiões onde a matéria-prima está escassa, tornando a adoção de vidro reciclado viável mesmo em pequenas obras residenciais (LOPES; FERREIRA, 2021).

Em termos de aplicações práticas, concretos e argamassas com substituição parcial de areia por vidro têm sido empregados em pavimentações urbanas, calçadas, blocos de vedação e elementos arquitetônicos leves, apresentando desempenho compatível com normas técnicas e resistência adequada para diversas situações construtivas (PEREIRA; SOUZA, 2022). Ademais, a utilização do vidro pode ser combinada a outros resíduos, como cinzas de biomassa ou fibras naturais, potencializando o conceito de materiais compósitos sustentáveis e ampliando as possibilidades de inovação na construção civil.

Comparado à areia natural, o vidro reciclado apresenta menor impacto ambiental, pois reduz a exploração de leitos fluviais e previne a degradação de ecossistemas aquáticos. Estudos de ACV (Análise de Ciclo de Vida) indicam que o transporte e a britagem do vidro têm menor consumo energético e menor emissão de gases de efeito estufa do que a extração e beneficiamento da areia convencional (ALMEIDA; COSTA, 2023).

Além disso, o vidro pode ser combinado com outros resíduos, como fibras vegetais, plásticos triturados ou cinzas de biomassa, criando materiais compósitos com propriedades mecânicas e térmicas aprimoradas. Essa combinação potencializa o conceito de economia circular e

amplia a gama de aplicações, desde concretos estruturais leves até elementos não estruturais, decorativos ou isolantes (SANTOS et al., 2022).

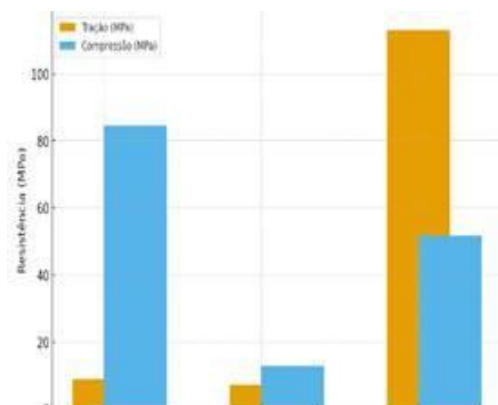
Países como Estados Unidos, Itália e Alemanha têm implementado o uso de vidro reciclado em larga escala na construção civil. Nos Estados Unidos, por exemplo, estudos realizados em concretos pavimentados com substituição parcial de areia por vidro mostraram aumento da resistência à compressão e melhor durabilidade em climas úmidos. Na Itália, o vidro tem sido usado em argamassas arquitetônicas e blocos decorativos, combinando sustentabilidade e estética, enquanto na Alemanha, pavimentos urbanos utilizam vidro triturado em até 30% da composição, gerando redução significativa de custos e impactos ambientais (BINTSIS, 2023; BATISTA et al., 2023).

Pesquisas recentes indicam que concretos com até 20% de substituição de areia por vidro reciclado mantêm resistência à compressão compatível com normas técnicas e apresentam menor absorção de água, o que contribui para maior durabilidade. Em termos ambientais, a redução do consumo de areia natural e a diminuição de resíduos destinados a aterros resultam em menor pegada de carbono e menor impacto sobre ecossistemas (RODRIGUES et al., 2023; PEREIRA; SOUZA, 2022).

O uso de vidro reciclado gera oportunidades econômicas ao estimular cadeias de coleta seletiva, processamento de resíduos e tecnologias de britagem e peneiramento. Além disso, em regiões com escassez de areia natural, o vidro triturado pode apresentar custo competitivo, permitindo obras sustentáveis e de baixo custo. Socialmente, a valorização de resíduos sólidos urbanos fortalece a economia local, cria empregos e promove a conscientização ambiental (SANTOS et al., 2022).

A incorporação do vidro como agregado miúdo representa uma solução sustentável e estratégica para a construção civil, conciliando inovação tecnológica, estética, viabilidade econômica e redução de impactos ambientais. Ao possibilitar a substituição parcial de insumos naturais, gerar produtos esteticamente diferenciados e reduzir a pegada de carbono, o vidro reciclado se apresenta como um material-chave para a construção do amanhã, alinhada aos princípios de economia circular e responsabilidade socioambiental.

Gráfico 1- Comparação de resistência mecânica de materiais sustentáveis



### 3.5 Síntese Comparativa dos Resultados

A análise integrada das alternativas sustentáveis estudadas — telhas ecológicas, madeira plástica, bambu e vidro reciclado como agregado miúdo — evidencia que cada material possui contribuições específicas para a construção civil, variando quanto ao impacto ambiental, desempenho técnico, custo e viabilidade de aplicação. Todavia, os resultados permitem identificar uma hierarquia de benefícios, reforçando os achados do *Resumo* e aprofundados na *Conclusão*.

Com o objetivo de conferir maior rigor analítico à pesquisa, foi estruturado um quadro comparativo com base em critérios técnicos previamente definidos: impacto ambiental, desempenho mecânico, viabilidade econômica e aplicabilidade na construção civil. Essa sistematização permite uma análise mais objetiva das alternativas sustentáveis estudadas, reduzindo a subjetividade interpretativa e fortalecendo a consistência dos resultados apresentados.

| Material                | Impacto Ambiental | Desempenho Técnico | Viabilidade Econômica | Aplicabilidade |
|-------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|----------------|
|                         |                   |                    |                       |                |
| <b>Telha ecológica</b>  | Médio             | Médio              | Médio                 | Médio          |
| <b>Madeira plástica</b> | Alto              | Médio              | Médio                 | Médio          |
| <b>Bambu</b>            | Muito alto        | Alto               | Alto                  | Alto           |
| <b>Vidro reciclado</b>  | Alto              | Médio              | Médio                 | Alto           |

A classificação apresentada possui caráter qualitativo, sendo fundamentada na análise comparativa da literatura, não representando valores absolutos, mas tendências observadas nos estudos revisados

Do ponto de vista ambiental, o bambu apresentou o desempenho mais significativo, destacando-se pelo rápido crescimento, alta capacidade de sequestro de carbono e baixo impacto no ciclo de vida, configurando-se como o material com maior potencial de descarbonização no presente estudo. O vidro reciclado também se sobressaiu por reduzir a extração de areia natural e diminuir o volume de resíduos destinados a aterros sanitários, fortalecendo práticas de economia circular. As telhas ecológicas contribuem para a valorização da cadeia de reciclagem de papel, enquanto a madeira plástica desempenha papel importante na mitigação de resíduos plásticos, embora exija maior consumo energético em sua etapa de produção.

Em relação ao desempenho técnico, o bambu novamente se destaca, apresentando resistências superiores em tração, compressão e flexão, tornando-se aplicável mesmo em elementos estruturais. O vidro reciclado demonstrou compatibilidade com concretos e argamassas de baixo e médio desempenho, desde que observados os cuidados relacionados à reação álcali-agregado. A madeira plástica, embora apresente resistência inferior à madeira tradicional, possui elevada durabilidade, impermeabilidade e reduzida necessidade de manutenção, sendo adequada para usos decorativos e exteriores. As telhas ecológicas, por sua vez, apresentam resistência moderada e melhor aplicabilidade em construções leves.

Os resultados permitem afirmar que a combinação de diferentes materiais sustentáveis, conforme as demandas de cada projeto, constitui uma estratégia eficaz para fortalecer a sustentabilidade na construção civil, ampliando a inovação, reduzindo impactos ambientais e promovendo práticas alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou que a sustentabilidade na construção civil é não apenas uma diretriz metodológica, mas uma necessidade urgente diante dos impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pelo setor. Retomando o objetivo principal do artigo — analisar alternativas sustentáveis aplicáveis à construção civil e compreender seus benefícios comparativos — observa-se que tal propósito foi atendido por meio da avaliação integrada de quatro soluções: telhas ecológicas, madeira plástica, bambu e vidro reciclado como agregado miúdo.

Os resultados, aqui sintetizados sem repetições desnecessárias, revelaram que todas as alternativas oferecem contribuições relevantes à redução de impactos ambientais, porém o bambu se destacou como a solução de maior impacto global, especialmente devido à sua capacidade de sequestro de carbono, rápido ciclo de renovação e excelente desempenho técnico. Essa hierarquia de benefícios, construída ao longo da análise, responde de forma clara ao problema de pesquisa ao indicar quais materiais apresentam maior potencial para promover uma construção civil efetivamente sustentável. A mensagem final que se pretende reforçar é que a incorporação desses materiais não representa apenas uma substituição técnica, mas um reposicionamento ético e estratégico do setor. A adoção de práticas sustentáveis promove ganhos ambientais, econômicos e sociais, como a redução de resíduos, a diminuição de custos operacionais, a geração de empregos e o fortalecimento de cadeias produtivas circulares. Esses achados consolidam a relevância da sustentabilidade como eixo estruturante do desenvolvimento contemporâneo, articulando-se com marcos regulatórios, acordos internacionais e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Ainda assim, a conclusão questiona: quais barreiras ainda impedem que tais soluções se tornem hegemônicas? Entre os desafios persistem custos iniciais elevados, resistência cultural, limitações técnicas e a falta de políticas públicas consistentes — fatores que dificultam a transição para modelos construtivos mais ecológicos. O reconhecimento desses entraves reforça a necessidade de ampliar pesquisas que analisem a viabilidade técnica, econômica e social dos materiais sustentáveis, bem como

a implementação de projetos-piloto capazes de evidenciar seus benefícios de forma prática e comparável.

Propõe-se, portanto, que futuros estudos explorem com maior profundidade aspectos como durabilidade, desempenho estrutural em diferentes contextos climáticos, análise de ciclo de vida e estratégias de produção em escala. Da mesma forma, recomenda-se a criação de incentivos governamentais e programas de capacitação técnica que fomentem a adoção dessas tecnologias no setor.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA. **Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – ABREMA**. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama>. Acesso em: 1 set. 2025.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. **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: 27 ago. 2025.

CABRAL, Stênio Cavalier; SILVA, Alex Junio; SOARES, Érica Brandão; ARAÚJO, Rainan Fernandes; MIRANDA, Souto Moreira Yuri. **Características comparativas da madeira plástica com a madeira convencional**. 2016. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Disponível em: <https://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2016/09/Stenio22.pdf#page=2.36>. Acesso em: 10 set. 2025.

CAMARGO, Diogo Luiz Quixabeira; PEREIRA, Katly Lohanne Lopes. **Utilização de bambu como elemento sustentável na arquitetura e construção civil: uma revisão bibliográfica**. 2021. *Engineering Sciences*. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/engineeringsciences/article/view/5871/3203>. Acesso em: 10 set. 2025.

CARBONARI, Gilberto et al. **Bambu – O aço vegetal**. 2017. *Mix Sustentável*. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1876/1052>. Acesso em: 11 set. 2025.

CASAGRANDE, Thiago. **Comparação técnica, econômica e ambiental entre telhas de material reciclado e telhas convencionais**. 2021. Centro Universitário Unifacvest. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/57d89-casagrande,-t.-comparacao-tecnica,-economica-e-ambiental-entre-telhas-de-material-reciclado-e-telhas-convencionais,-2021.-tcc-defendido-em-julho-de-2.pdf#page=17.50>. Acesso em: 9 set. 2025.

CORRÊA, Lázaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54235791/Sustentabilidade\\_na\\_Construcao\\_Civill-libre.pdf](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54235791/Sustentabilidade_na_Construcao_Civill-libre.pdf). Acesso em: 13 ago. 2025.

DINIZ, Eliezer Martins. **Os resultados da Rio +10**. 2014. UNB. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Eliezer-Diniz/publication/232275685\\_Os\\_resultados\\_da\\_Rio\\_10/links/0fcfd508086f66aa97000000/Os-resultados-da-Rio-10.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Eliezer-Diniz/publication/232275685_Os_resultados_da_Rio_10/links/0fcfd508086f66aa97000000/Os-resultados-da-Rio-10.pdf). Acesso em: 4 set. 2025.

GOTTEMS, Leonardo. **Brotos de bambu têm potencial alimentício na China**. 2024. *Agrolink*. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/noticias/brotos-de-bambu-tem-potencial-alimenticio-na-china\\_489742.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/brotos-de-bambu-tem-potencial-alimenticio-na-china_489742.html). Acesso em: 11 set. 2025.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre-docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-27072022-082553/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

LESSA, Mara Livia Santos. **Critérios de sustentabilidade para elementos construtivos: um estudo sobre telhas “ecológicas” empregadas na construção civil**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009. Disponível em: [https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/18467/1/Dissertação-2009-Mara%20Lessa%20Crit\\_%20sustab\\_%20apli\\_%20elem\\_%20const\\_%20estudo%20telha%20ecologica.pdf](https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/18467/1/Dissertação-2009-Mara%20Lessa%20Crit_%20sustab_%20apli_%20elem_%20const_%20estudo%20telha%20ecologica.pdf). Acesso em: 9 set. 2025.

MACEDO, Fernanda; ARAÚJO, Elaine Cristina; ANDRADE, Izabel da Silva; CORREA, Thaís. **Desafios e reflexões da COP 28**. 2024. *Processando o Saber*. Disponível em: <https://fatecpq.edu.br/revista/index.php/ps/article/view/368/227>. Acesso em: 8 set. 2025.

MACHADO, Laura Maria Goulart. **A produção do discurso do desenvolvimento sustentável: de Estocolmo à Rio-92**. 2005. UNB. Disponível em: [https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/41415/1/2005\\_VilmadeFatimaMachado.pdf#page=7.12](https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/41415/1/2005_VilmadeFatimaMachado.pdf#page=7.12). Acesso em: 2 set. 2025.

MAGESTE, Ana Elisa Silva. **Uma análise do conceito de desenvolvimento sustentável apresentada no relatório Brundtland (1987) a partir da perspectiva decolonial**. 2023. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/38267/3/AnáliseConceitoDesenvolvimento.pdf>. Acesso em: 3 set. 2025.

NASCIMENTO, Emili Rodrigues de; MORAIS, Denílson Pedro Ferreira de; LOPES, Shara Carvalho. **Sustentabilidade na construção civil no Brasil: uma revisão literal**. 2022. *Research, Society and Development*. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36611>. Acesso em: 1 set. 2025.

PEREIRA, Amanda Castilho; MARTINS, Matheus Carrara. **Práticas sustentáveis aplicadas na construção civil**. 2022. Universidade Salvador. Disponível em: [https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2022/05/PRATICAS-SUSTENTAVEIS-APLICADAS-NA-CONSTRUCAO-CIVIL.pdf?utm\\_source](https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2022/05/PRATICAS-SUSTENTAVEIS-APLICADAS-NA-CONSTRUCAO-CIVIL.pdf?utm_source). Acesso em: 1 set. 2025.

REI, Fernando Cardozo Fernandes; SOUZA, Luciano Pereira de; GONÇALVES, Alcindo. **Acordo de Paris: reflexões e desafios para o regime internacional de mudanças climáticas**. 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Fernando-ACORDO\\_DE\\_PARIS\\_REFLEXOES\\_E\\_DESAFIOS\\_PARA\\_O\\_REGIME\\_INTERNACIONAL\\_DE\\_MUDANCAS\\_CLIMATICAS](https://www.researchgate.net/profile/Fernando-ACORDO_DE_PARIS_REFLEXOES_E_DESAFIOS_PARA_O_REGIME_INTERNACIONAL_DE_MUDANCAS_CLIMATICAS). Acesso em: 8 set. 2025.

SANTOS, Daniel Medina Corrêa; MEDEIROS, Thiago de Ávila. **Desenvolvimento sustentável e Agenda 21 brasileira.** 2020. *ResearchGate*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Santos/publication/339181696\\_DESENVOLVIMENTO\\_SUSTENTAVEL\\_E\\_AGENDA\\_21\\_BRASILEIRA/links//DESENVOLVIMENTO-SUSTENTAVEL-E-AGENDA-21-BRASILEIRA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Santos/publication/339181696_DESENVOLVIMENTO_SUSTENTAVEL_E_AGENDA_21_BRASILEIRA/links//DESENVOLVIMENTO-SUSTENTAVEL-E-AGENDA-21-BRASILEIRA.pdf). Acesso em: 5 set. 2025.

SPADOTTO, Aryane et al. **Impactos ambientais causados pela construção civil.** 2012. *Unoesc e Ciência – ACSA*. Disponível em: [https://periodicos.unoesc.edu.br/acsa/article/view/745/pdf\\_232](https://periodicos.unoesc.edu.br/acsa/article/view/745/pdf_232). Acesso em: 13 ago. 2025.

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss; SANTOS, Taís Carvalho dos; ULIANA, Daniéli. **Construção civil e sustentabilidade: materiais da casa popular eficiente da UFSM.** 2021. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228822/574-582.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm\\_source](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228822/574-582.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source). Acesso em: 8 set. 2025.