

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Comparativo de custos entre materiais sustentáveis e materiais convencionais
aplicados a uma edificação modelo**

Isabela Gouvêa de Souza
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

ISABELA GOUVÊA DE SOUZA

**Comparativo de custos entre materiais sustentáveis e materiais convencionais
aplicados a uma edificação modelo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Beatryz Cardoso Mendes

Coorientador: Tulio M. de S. Tiburcio

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729c
2026

Souza, Isabela Gouvêa de, 1999-

Comparativo de custos entre materiais sustentáveis e
materiais convencionais aplicados a uma edificação modelo /
Isabela Gouvêa de Souza. – Viçosa, MG, 2026.

1 dissertação eletrônica (89 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Beatrys Cardoso Mendes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2026.

Referências bibliográficas: f. 79-88.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.366>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Construção civil - Aspectos ambientais. 2. Edifícios
sustentáveis. 3. Materiais de construção - Aspectos econômicos.
I. Mendes, Beatrys Cardoso, 1995-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Programa de
Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 22. ed. 690.0286

ISABELA GOUVÊA DE SOUZA

**Comparativo de custos entre materiais sustentáveis e materiais convencionais
aplicados a uma edificação modelo**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2026.

Assentimento:

Isabela Gouvêa de Souza
Autora

Beatryz Cardoso Mendes
Orientadora

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 08/07/2026 às 10:48:48 e pela orientadora em 08/07/2026 às 15:38:29. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **1N22.NYQ6.XXVT** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela força, pela saúde e por me sustentar em cada etapa desta jornada.

À Isabela do passado, pela coragem de seguir em frente mesmo nos momentos mais desafiadores, pela disciplina e por acreditar nos seus sonhos.

Aos meus pais Valéria e Fernando, pelo amor incondicional, apoio constante e por serem minha base em todos os momentos.

Ao Álvaro, meu namorado, pela paciência, compreensão, incentivo e por estar ao meu lado nos dias bons e nos difíceis.

Aos meus padrinhos Luzia e Gerson, pelo carinho, incentivo e exemplo, que sempre me inspiraram a buscar o meu melhor.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, por acreditarem em mim e por tornarem essa caminhada mais leve e feliz.

À minha psicóloga Bianca, por me ouvir, me orientar e me fortalecer emocionalmente ao longo desse processo.

À minha orientadora Beatriz, pelo conhecimento compartilhado, pela orientação cuidadosa e pela confiança no meu trabalho.

Ao meu coorientador Túlio, pelo apoio, pelas contribuições valiosas e por acreditar no potencial desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da UFV, por me proporcionar a oportunidade de crescimento acadêmico e pessoal.

A todos vocês, minha mais profunda gratidão.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A Terra possui recursos suficientes para prover as necessidades de todos, mas não
a avidez de alguns
(Mahatma Gandhi)

RESUMO

SOUZA, Isabela Gouvêa de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2026. **Comparativo de custos entre materiais sustentáveis e materiais convencionais aplicados a uma edificação modelo.** Orientadora: Beatriz Cardoso Mendes. Coorientador: Tulio Marcio de Salles Tiburcio.

Diante da crescente escassez de recursos e dos impactos ambientais e sociais, como o agravamento das mudanças climáticas, o aumento da poluição e a ameaça à disponibilidade de recursos essenciais, como água e energia, torna-se urgente a revisão dos paradigmas atuais. Considerando que a construção civil é responsável por expressivos impactos ambientais - como o alto consumo de recursos naturais, a geração de resíduos, as emissões de gases de efeito estufa e a degradação dos ecossistemas, faz-se necessário repensar o desenvolvimento do setor sob uma perspectiva mais sustentável. Nesse contexto, este estudo aborda a sustentabilidade na construção civil, considerando o custo financeiro como um possível entrave à adoção de soluções sustentáveis. Assim, o estudo buscou compreender se edificações que utilizam materiais sustentáveis são realmente mais custosas que edificações feitas com materiais convencionais, identificar etapas em que materiais sustentáveis podem ser financeiramente viáveis e analisar em quais fases construtivas a diferença de custos é mais significativa. Para isso, realizou-se uma fundamentação teórica sobre as dimensões da sustentabilidade, certificações ambientais e materiais com proposta ecológica. Em seguida, elaborou-se três modelos de edificação - convencional, sustentável com piso de porcelanato e sustentável com piso de bambu - e foi realizado um comparativo financeiro com base nas planilhas SINAPI (IBGE, 2025), SEINFRA (BRASIL, 2025) e fornecedores que realizam entrega na cidade de Viçosa-MG. Os resultados indicam que o modelo de edificação orientado à sustentabilidade apresentou um acréscimo de custo total entre 3,22% e 4,03% em relação aos modelos convencionais analisados. No entanto, essa diferença não se distribui de forma homogênea entre as etapas construtivas. A etapa de cobertura, por exemplo, apresentou redução de custo de até 60,79% nos modelos sustentáveis, ao passo que as etapas de acabamentos (entre 5,36% e 7,03%) e vedações (19,06%) registraram aumentos moderados. Por outro lado, as esquadrias (73,95%) apresentaram custos significativamente mais elevados nas soluções sustentáveis adotadas. Diante desse cenário, pode-se inferir que a incorporação parcial de estratégias sustentáveis configura-se como uma alternativa viável do ponto de vista econômico, uma vez que permite avanços em termos de desempenho ambiental com impactos

mais controlados no custo global da edificação e, conseqüentemente, no valor final do empreendimento.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Arquitetura; Construção civil; Materiais sustentáveis; Viabilidade financeira

ABSTRACT

SOUZA, Isabela Gouvêa de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2026. **Cost comparison between sustainable and conventional materials applied to a model building.** Adviser: Beatryz Cardoso Mendes. Co-adviser: Tulio Marcio de Salles Tiburcio.

In view of the growing scarcity of resources and the environmental and social impacts, such as the worsening of climate change, the increase in pollution, and the threat to the availability of essential resources such as water and energy, it becomes urgent to revise current paradigms. Considering that the construction industry is responsible for significant environmental impacts — such as high consumption of natural resources, waste generation, greenhouse gas emissions, and ecosystem degradation — it is necessary to rethink the sector's development from a more sustainable perspective. In this context, this study addresses sustainability in the construction industry, considering financial cost as a possible barrier to the adoption of sustainable solutions. Thus, the study sought to understand whether buildings that use sustainable materials are in fact more expensive than buildings constructed with conventional materials, to identify stages in which sustainable materials may be financially viable, and to analyze in which construction phases the cost differences are most significant. To this end, a theoretical framework was developed addressing the dimensions of sustainability, environmental certifications, and environmentally friendly materials. Subsequently, three building models were designed — a conventional model, a sustainable model with porcelain tile flooring, and a sustainable model with bamboo flooring — and a financial comparison was carried out based on the SINAPI (IBGE, 2025) and SEINFRA (BRAZIL, 2025) cost databases, as well as suppliers delivering to the city of Viçosa, Minas Gerais. The results indicate that the sustainability-oriented building model presented an increase in total cost ranging from 3.22% to 4.03% compared to the conventional models analyzed. However, this difference was not distributed homogeneously across the construction stages. The roofing stage, for example, showed a cost reduction of up to 60.79% in the sustainable models, whereas the finishing stages (between 5.36% and 7.03%) and wall systems (19.06%) showed moderate increases. On the other hand, the frames and openings systems (73.95%) presented significantly higher costs in the sustainable solutions adopted. Given this scenario, it can be inferred that the partial incorporation of sustainable strategies constitutes an economically viable alternative, since it allows advances in environmental performance with more controlled impacts on the overall building cost and, consequently, on

the final cost of the development.

Keywords: Sustainability; architecture; civil construction; sustainable materials; financial viability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de publicações relacionadas ao tema pesquisado.....	18
Gráfico 2 - Idioma de publicação dos trabalhos sobre o tema pesquisado.....	19
Gráfico 3 - Energia incorporada do cimento, tijolo cerâmico e madeira (MJ/kg).....	36
Gráfico 4 - Comparação do custo final de cada modelo de edificação.....	74
Gráfico 5 - Comparação dos custos por etapa construtiva em cada modelo de edificação.....	75

QUADROS

Quadro 1 - Análise das diferenças e similaridades entre as certificações para materiais estudadas.....	25
Quadro 2 - Análise das diferenças e similaridades entre as certificações para edificações estudadas.....	30
Quadro 3 - Classificação das coberturas verdes.....	43
Quadro 4 - Cinco tipologias diferentes de painéis de bambu.....	51
Quadro 5 - Classificação dos materiais sustentáveis com base em critérios de sustentabilidade.....	56
Quadro 6 - Resultados das buscas por cada material sustentável na base de dados Scopus.....	60
Quadro 7 - Requisitos necessários para o piso de cada ambiente.....	70
Quadro 8 - Quadro de esquadrias.....	89

FIGURAS

Figura 1 - As seis dimensões da sustentabilidade.....	23
Figura 2 - Critérios para a escolha de materiais construtivos.....	31
Figura 3 - Categorização dos materiais construtivos sustentáveis estudados.....	32
Figura 4 - Componentes da cobertura verde.....	43
Figura 5 - Mural “Pindorama”, pintado por Rimon Guimarães - São Paulo.....	47
Figura 6 - Mural pintado por André Kajaman - Rio de Janeiro.....	47
Figura 7 - Opções de coloração e padronagens de ecogranito.....	49
Figura 8 - Aplicação do ecogranito.....	50
Figura 9 - Forro de madeira em área externa.....	51
Figura 10 - Forro de bambu em ambiente interno.....	52
Figura 11 - Esquadria de bambu desenvolvida para os testes citados.....	54
Figura 12 - Esquadria de bambu sendo usada na prática.....	54
Figura 13 - Materiais convencionais e sustentáveis que serão estudados em relação aos custos financeiros.....	60
Figura 14 - Planta do apartamento.....	62
Figura 15 - Planta do pavimento tipo - circulação com piso laminado de bambu.....	62
Figura 16 - Planta pavimento tipo - circulação com piso em porcelanato.....	63

Figura 17 - Planta pavimento térreo - piso em porcelanato.....	63
Figura 18 - Planta pavimento térreo - piso laminado de bambu.....	64
Figura 19 - Planta do subsolo.....	64
Figura 20 - Fachada frontal.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do bambu, pinus e concreto.....	35
Tabela 2 - Fornecedores de tijolo de solo-cimento mais próximos.....	68
Tabela 3 - Materiais construtivos convencionais.....	71
Tabela 4 - Materiais construtivos sustentáveis - utilizando piso laminado de bambu nas áreas comuns do edifício.....	72
Tabela 5 - Materiais construtivos sustentáveis - utilizando piso de porcelanato nas áreas comuns do edifício.....	73
Tabela 6 - Valores exatos dos custos por etapa construtiva em cada modelo de edificação.....	75
Tabela 7 - Quantidade de salários mínimos necessários para cada etapa construtiva.....	76

LISTA DE SIGLAS

ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AIE	Agência Internacional de Energia
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CERFLOR	Certificação Florestal Brasileira
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CSD	Composições sem Desoneração
DAP	Declarações Ambientais de Produto
EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
FSC	Forest Stewardship Council

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMCB	Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu
PQA	Perfil de Qualidade Ambiental
PVC	Policloreto de Vinila
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Contextualização.....	15
1.2. Justificativa e relevância da pesquisa.....	17
1.3. Problema da pesquisa.....	20
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. Objetivo geral.....	22
1.4.2. Objetivos específicos.....	22
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1. Dimensões da sustentabilidade.....	22
2.2. Certificações ambientais para materiais.....	24
2.3. Certificações ambientais para edificações e sua relação com materiais sustentáveis	26
2.3.1. Selo LEED.....	26
2.3.2. Selo AQUA.....	27
2.3.3. Selo Casa Azul.....	29
2.3.4. Selo PBE Edifica.....	29
2.4. Materiais construtivos sustentáveis.....	31
2.4.1. Tijolo de solo-cimento.....	32
2.4.2. Bambu.....	34
2.4.3. Madeira.....	36
2.4.4. Transformações na produção de concreto.....	38
2.4.5. Telha tubo.....	39
2.4.6. Telha de fibra vegetal (papel reciclado).....	40
2.4.7. Telha Taubilha.....	41
2.4.8. Cobertura verde.....	42
2.4.9. Piso laminado de bambu.....	44
2.4.10. Piso vinílico reciclado.....	45
2.4.11. Porcelanato reciclado.....	45
2.4.12. Tinta fotocatalítica.....	46
2.4.13. Tinta térmica.....	48
2.4.14. Ecogranito.....	48
2.4.15. Forro de madeira.....	50
2.4.16. Forro de bambu.....	51
2.4.17. Esquadria de madeira.....	52
2.4.18. Esquadrias de bambu.....	53
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	54
3.1. Seleção de materiais.....	54
3.2. Edificação modelo.....	61
3.3. Comparativo financeiro.....	65
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....	68
4.1. Escolha dos materiais construtivos.....	68

4.2. Comparativo financeiro.....	71
CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO.....	73
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES.....	77
REFERÊNCIAS.....	79
APÊNDICE - QUADRO DE ESQUADRIAS.....	89

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O setor da construção civil é um dos segmentos que compõem a indústria de base e, por isso, é influenciado diretamente pela economia do país. Assim, é importante analisar os princípios que estruturam a dinâmica econômica na qual o setor está inserido a partir de uma perspectiva histórica. Nesse cenário, destacam-se as especificidades da formação social latino-americana, que servem de alicerce para o modelo capitalista, influenciando de forma significativa as direções e práticas adotadas pela construção civil (Falcão; El-Deir; Holanda, 2022).

A extração desenfreada de recursos naturais para suprir as demandas da construção civil gera muitos impactos ambientais e sociais. Analisando essa extração no contexto brasileiro, deve-se considerar que há uma manutenção dos padrões coloniais, em que se dividiu o território entre os “países periféricos”, onde a economia é primordialmente voltada à exportação de matérias-primas, e os “países centrais”, onde a apropriação das riquezas e recursos se transforma em acumulação (Saramago; Lopes, 2024).

Nesse contexto, articulam-se as reflexões de Harvey (2020), que apontam como o espaço se torna objeto de especulação na medida em que se busca responder à questão: “como e por quais meios pode-se usar, organizar, criar e dominar o espaço a fim de que ele se adapte aos requisitos temporais rigorosos da circulação de capital”. A crescente mobilidade do capital intensificou a competição global entre territórios para a instalação de empreendimentos, provocando o enfraquecimento de políticas públicas e a flexibilização de normas de proteção ambiental. Como resultado, observa-se, desde o século XX, um padrão de crescimento urbano insustentável em diversas regiões do mundo (Harvey, 2020).

A Revolução Industrial promoveu um acelerado crescimento urbano, sustentado por uma intensa exploração dos recursos naturais. Nesse contexto, a década de 1970 — especialmente após a crise do petróleo — representou um momento inicial de conscientização ambiental. O expressivo aumento dos custos energéticos nos países dependentes da queima de combustíveis fósseis, estimulou ações voltadas à redução do consumo de energia. Esse cenário trouxe à tona a preocupação com o desempenho e a eficiência energética das edificações, fortalecendo os debates sobre desenvolvimento sustentável, como os discutidos na Conferência de

Estocolmo em 1972. Foi também nesse período que surgiram as auditorias ambientais, práticas de avaliação sistemática do desempenho institucional em relação à sustentabilidade (Tozoni-Reis, 2002).

Diante da crescente escassez de recursos e dos impactos ambientais e sociais - como o agravamento das mudanças climáticas, o aumento da poluição e o risco de escassez de recursos vitais, como água e energia - torna-se cada vez mais urgente a necessidade de redefinir os paradigmas vigentes. É nesse cenário que surge o conceito de “desenvolvimento sustentável”, consolidado por meio do Relatório Brundland, também conhecido como “Nosso futuro comum”, apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), realizada em 1987. De acordo com o documento, desenvolvimento sustentável é “o desenvolvimento que garante o atendimento das necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender suas necessidades” (CMMAD, 1991).

Nesse sentido, a ideia de uma gestão eficiente de obras ganhou destaque no início dos anos 1990 com a implementação da filosofia *lean construction*, inicialmente focada na redução de custos e desperdícios, com uma abordagem predominantemente econômica. Desenvolvida a partir do trabalho de Koskela (1992), essa metodologia, inspirada no *lean production* japonês, introduziu práticas que visam aprimorar a eficiência dos processos na construção civil. Posteriormente, tal conceito evoluiu para incorporar objetivos sociais e ambientais em equilíbrio com os econômicos (Falcão; El-Deir; Holanda, 2022).

Com o intuito de estabelecer uma visão clara e integrada sobre o desenvolvimento sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou, em 2015, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Formados por 17 objetivos interligados, eles abordam desafios globais e vêm sendo incorporados de forma crescente nas ações de empresas e instituições. No campo da arquitetura, o destaque recai sobre o ODS 11, voltado a “cidades e comunidades sustentáveis”. Além disso, foram definidas 169 metas a serem alcançadas até 2030, compondo, em conjunto com os ODS, a chamada Agenda 2030 (Nações Unidas, 2020).

Assim, a pesquisa tratará sobre a sustentabilidade na construção civil, abordando as principais certificações ambientais, alguns materiais que visam ser ambientalmente responsáveis e questões financeiras envolvidas na tomada de decisão acerca dos materiais construtivos.

Cabe destacar que, no âmbito desta pesquisa, o conceito de sustentabilidade é entendido como a adoção de estratégias voltadas ao desenvolvimento de edificações capazes de reduzir os impactos ambientais negativos decorrentes das atividades humanas. Isso se dá por meio do uso eficiente de recursos, da otimização do desempenho energético e da seleção de materiais de menor impacto ambiental, garantindo, ao longo de todo o ciclo de vida da edificação, condições adequadas de conforto, saúde e bem-estar para os usuários.

1.2. Justificativa e relevância da pesquisa

Segundo o relatório de emissões de gases feito da ONU (UNEP, 2022), o Brasil está entre os sete maiores emissores de gases que causam o efeito estufa no contexto mundial, pertencendo ao grupo composto por 20 países que é responsável por 75% dessas emissões. Sabendo que a construção civil libera esse tipo de poluente na atmosfera, é preciso que sejam traçadas maneiras de contornar esse problema.

O efeito estufa é responsável por alterar os padrões de temperatura do planeta, causadas tanto por processos naturais quanto pela ação humana. Essas alterações levam a impactos para o ecossistema. Outro dado importante é o fato de a última década, entre 2011 e 2020, ter sido a mais quente já registrada. Em comparação ao século XIX, a Terra está cerca de 1,6° mais quente (Marengo et al., 2025, p. 12).

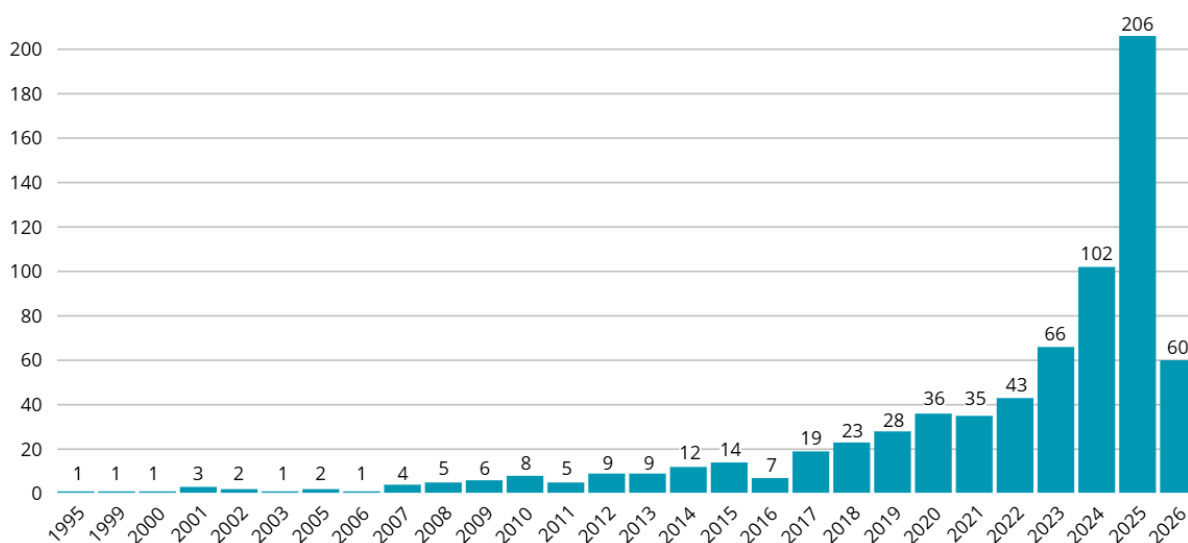
Diante da situação apresentada, fica evidente a necessidade de conscientização sobre a conservação de natureza para que as edificações consigam atingir cada vez mais parâmetros positivos no que tange às questões ambientais. Isso porque as decisões sustentáveis devem ser tomadas desde as etapas de concepção do projeto, considerando as escolhas dos materiais, os sistemas de reaproveitamento de água, sistemas de geração de energia, entre outros. Nesse sentido, cabe ressaltar que é possível transformar uma construção já existente em sustentável, mas apenas dentro de um certo limite e considerando que os impactos gerados anteriormente já afetaram o planeta e não podem mais ser revertidos.

Ademais, a obra precisa ser pensada de maneira a minimizar os desperdícios, alocando bem os materiais e descartando de maneira adequada os resíduos, mas sempre pensando nas possibilidades de reutilização dentro do próprio canteiro de obras ou direcionando para um processo de reciclagem, quando possível. É necessário, após o término da construção,

orientar os usuários em relação à manutenção dos materiais utilizados, visando aumentar sua vida útil e reduzir a necessidade de substituições evitáveis.

A escassez de dados sistematizados e a limitada produção científica acerca dos custos associados à implantação e manutenção de materiais e técnicas sustentáveis na construção civil justificam a realização da presente pesquisa, sobretudo considerando a viabilidade econômica como um dos principais entraves à adoção de práticas sustentáveis no setor. O levantamento realizado na base de dados *Scopus* evidencia que a interseção entre os temas “sustentabilidade” e “impacto financeiro”, anteriormente pouco explorada, vem apresentando crescimento nos últimos anos, o que reforça a relevância e atualidade da investigação. Ainda assim, trata-se de um campo incipiente, com apenas 708 publicações identificadas na área de Engenharia, indicando a necessidade de maior aprofundamento científico sobre o tema. É o que indica o Gráfico 1 a seguir.

Gráfico 1 - Quantidade de publicações relacionadas ao tema pesquisado



Fonte: elaborado pela autora (2026)

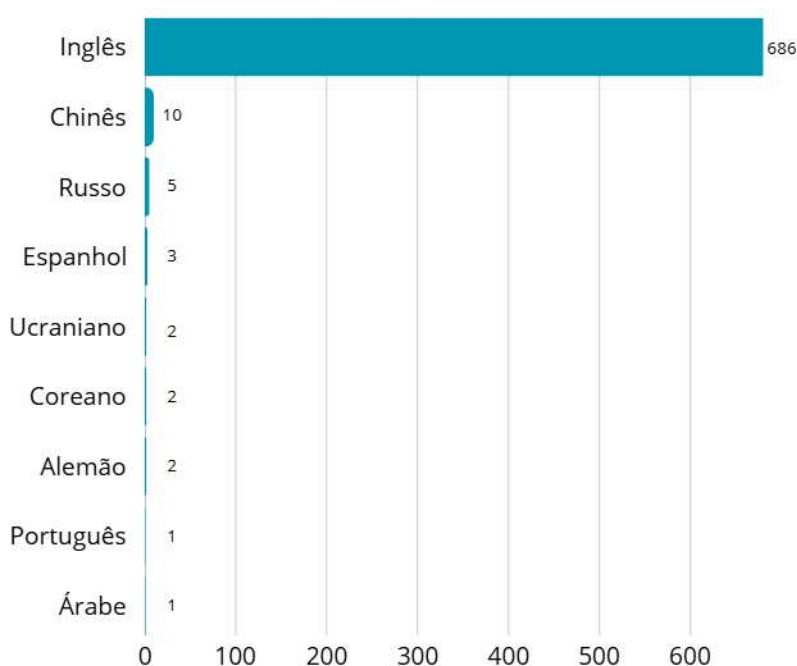
O gráfico mostra a evolução temporal das publicações indexadas na base Scopus relacionadas ao tema da pesquisa. Observa-se que, até 2007, a produção científica era bastante incipiente, com número reduzido de publicações anuais, indicando um interesse ainda limitado da comunidade acadêmica pelo tema. A partir desse ano, nota-se um crescimento gradual, ainda que moderado, no volume de estudos publicados. Esse aumento torna-se mais expressivo a partir de aproximadamente 2017, quando se observa uma tendência de crescimento mais acelerado, culminando em um pico significativo em 2025, com mais de 200 publicações registradas em um único ano. Esse comportamento sugere uma consolidação recente do tema

como área de interesse científico, possivelmente impulsionada pelo agravamento das questões ambientais e pela crescente demanda por soluções sustentáveis na construção civil.

Apesar desse crescimento expressivo nos últimos anos, o gráfico também evidencia que a produção ainda é relativamente recente e concentrada em um curto período de tempo, reforçando o caráter emergente da temática. Dessa forma, os dados corroboram a relevância da pesquisa proposta, ao indicar que, embora o interesse acadêmico esteja em expansão, ainda há lacunas a serem exploradas, especialmente no que se refere à interface entre sustentabilidade e viabilidade econômica no setor da construção civil.

Adicionalmente, destaca-se a importância de considerar o idioma de publicação dos estudos, sendo a língua inglesa predominante, conforme evidenciado no Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 - Idioma de publicação dos trabalhos sobre o tema pesquisado



Fonte: elaborado pela autora (2026)

Esse gráfico evidencia a distribuição das publicações por idioma. Com um total de 686 trabalhos, o inglês se consolida como o principal idioma de divulgação, o que reflete sua posição como língua franca da ciência e indica que a maior parte das discussões e avanços na área ocorre em âmbito internacional.

Em contraste, os demais idiomas apresentam participação significativamente reduzida. O chinês aparece em segundo lugar, com 10 publicações, seguido por russo (5) e espanhol (3).

Outros idiomas, como ucraniano, coreano e alemão, apresentam apenas 2 registros cada, enquanto o português e o árabe figuram com apenas 1 publicação cada.

Essa distribuição evidencia não apenas a concentração da produção científica em inglês, mas também a baixa representatividade de países de língua portuguesa no debate acadêmico sobre o tema. Tal cenário reforça a necessidade de ampliação das pesquisas nesse contexto, especialmente no Brasil, contribuindo para a diversificação linguística e geográfica da produção científica e para o fortalecimento de abordagens mais contextualizadas à realidade local.

1.3. Problema da pesquisa

Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2023), no ano de 2022, o setor da construção civil foi responsável pela geração de quase 10% do total de empregos formais criados no país. Ainda assim, esse setor pode ser extremamente prejudicial a longo prazo, uma vez que o Relatório de Status Global para Edifícios e Construções da ONU (UNEP, 2020) aponta que o setor é responsável por 35% do consumo global de energia e 39% das emissões de gases de efeito estufa. Essas elevadas porcentagens levam a alguns impactos diretos e indiretos que a construção civil tem na natureza, como:

- Destruição das áreas verdes: quando a construção ocorre sem preocupação com o espaço em que está inserida, pode impactar na biodiversidade de uma região, mesmo que esteja devidamente licenciada. Há também a destruição indireta de áreas verdes, quando a edificação utiliza recursos naturais com origem na mineração, como o ferro.
- Poluição atmosférica: é comum, na construção civil, a utilização de cimento, cuja produção libera dióxido de carbono, um dos principais gases que causam o efeito estufa. Há, do mesmo modo, a poluição atmosférica indireta quando os fornecedores dos materiais se localizam a uma grande distância do local da obra, gerando a poluição proveniente do transporte. Cabe ressaltar ainda que, segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE) para o Relatório da ONU (Nações Unidas Brasil, 2020), as emissões diretas de CO₂ dos edifícios precisam ser reduzidas pela metade até 2030, e as emissões indiretas do setor de construção precisam ser reduzidas em 60% para que o setor consiga alcançar a neutralidade climática até 2050.

- Geração de resíduos: segundo dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), as obras geram, em média, 120 kg/m² de entulho quando não são planejadas de modo a mitigar esse impacto. Em relação ao destino desse entulho, cerca de 70% é reaproveitado, o que corresponde a, aproximadamente, oito bilhões de reais desperdiçados por ano. Estima-se que, em 2022, foram gerados 120 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição no Brasil (Torres, 2023).

- Redução de reservas hídricas: as edificações diminuem a permeabilidade do solo e mudam os regimes de drenagem, causando o aumento das enchentes na época de chuvas. Outra consequência dessa impermeabilização é a diminuição das reservas de água subterrânea.

Nesse contexto, é importante o desenvolvimento de estudos que tratam da sustentabilidade na construção civil. Um fator que pode dificultar a opção por soluções sustentáveis é o custo financeiro de construções sustentáveis, pois embora tais soluções estejam associadas a benefícios ambientais e, em alguns casos, à redução de custos operacionais ao longo do tempo, o investimento inicial frequentemente mais elevado pode representar uma barreira significativa, especialmente em contextos com restrições orçamentárias. Nesse sentido, a necessidade de maior aporte de capital no momento da execução tende a desestimular a escolha por materiais e tecnologias sustentáveis, direcionando a decisão para alternativas convencionais de menor custo imediato. Assim, o custo não apenas influencia, mas pode limitar a incorporação de práticas sustentáveis, evidenciando a importância de análises econômicas mais abrangentes que considerem o ciclo de vida das edificações (Domingos, 2019).

Por isso, o trabalho pretende responder às seguintes perguntas: construções sustentáveis são realmente mais custosas financeiramente do que construções convencionais? Alguma etapa da construção apresenta custos financeiros próximos para materiais sustentáveis e convencionais? Em quais etapas há uma discrepância significativa nos valores de construção e em quais etapas essa diferença não é significativa?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

Comparar os custos de materiais construtivos sustentáveis e de materiais convencionais aplicados a uma edificação modelo, a fim de verificar a viabilidade financeira de soluções construtivas com menor impacto ambiental.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar e caracterizar materiais construtivos sustentáveis, considerando suas propriedades técnicas, funcionais e ambientais.
- Investigar financeiramente o uso dos materiais nos modelos desenvolvidos, avaliando a distribuição dos custos por etapa construtiva e discutindo suas implicações em projetos reais.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira etapa de desenvolvimento do trabalho foi a realização de uma breve fundamentação teórica sobre sustentabilidade em edificações, de uma forma geral, materiais construtivos com potencial de redução dos impactos ambientais, bem como as principais certificações ambientais aplicadas à construção civil brasileira, com o objetivo de estabelecer a base conceitual da pesquisa.

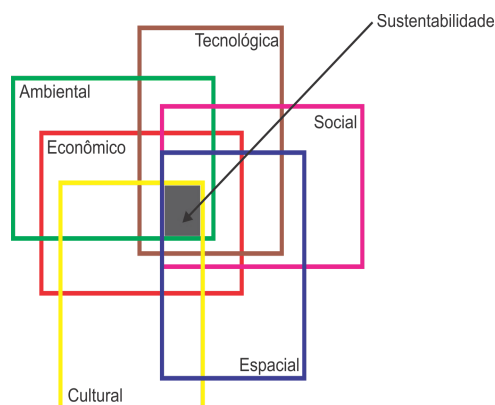
2.1. Dimensões da sustentabilidade

Uma construção sustentável deve se pautar em ser ecologicamente correta, economicamente viável e socialmente justa. Esse conceito é conhecido como “Tripé da sustentabilidade” e foi criado pelo sociólogo John Elkington (1994). No entanto, a sustentabilidade não se resume a apenas isso, pois é necessário que outros fatores sejam observados para que uma edificação possa ser de fato sustentável. Barbosa (2013) define a dimensão ambiental como “equilíbrio entre a proteção do ambiente físico e seus recursos, e o uso destes recursos de forma a permitir que o planeta continue a suportar uma qualidade de vida aceitável”. Já a dimensão social é definida como “o desenvolvimento de sociedades justas, que proporcionem oportunidades de desenvolvimento humano e um nível aceitável de qualidade de vida”. Por

fim, a dimensão econômica se trata de “um sistema econômico que facilite o acesso a recursos e oportunidades e o aumento de prosperidade para todos, dentro dos limites do que é ecologicamente possível e sem ferir os direitos humanos básicos”.

Essas três dimensões da sustentabilidade foram consideradas suficientes, por um período, como critérios para analisar o processo de uma construção em relação à sua sustentabilidade. No entanto, existem outros fatores importantes a serem considerados nesse sentido. Assim, Barbosa (2013) caracterizou novas dimensões de sustentabilidade, mantendo a ambiental, a econômica e a social e adicionando a cultural, a espacial e a tecnológica. A autora entende a dimensão cultural como a valorização da herança cultural e suas particularidades, promovendo a adequação arquitetônica ao contexto. A dimensão espacial é definida pelas “relações de configuração do espaço, considerando aspectos e impactos físicos e naturais, bem como elementos urbanos”. O conceito de dimensão tecnológica “trata do desenvolvimento e uso adequado de tecnologias que contribuam para soluções mais sustentáveis”. Na Figura 1 é demonstrado como as dimensões se inter relacionam e culminam na sustentabilidade.

Figura 1 - As seis dimensões da sustentabilidade.



Fonte: Barbosa (2013), adaptado de Tibúrcio, (1994).

No contexto corporativo, a sustentabilidade deixou de ser uma diretriz opcional e passou a constituir um elemento estratégico fundamental para a competitividade e a permanência das organizações no mercado global. Nesse sentido, integrar práticas sustentáveis às operações da construção civil configura-se não apenas como um compromisso ético e ambiental, mas também como uma exigência econômica e social.

Em relação à visão dos consumidores, grande parte considera a sustentabilidade um aspecto essencial na conduta empresarial, reconhecendo sua relevância para a mitigação de impactos

ambientais. Ao mesmo tempo, embora compreendam as dificuldades enfrentadas por muitas empresas para implementar estratégias sustentáveis, os consumidores acreditam que é possível alinhar práticas sustentáveis a modelos de negócios economicamente viáveis. Essa conscientização reflete uma transformação nas escolhas de consumo, em que critérios relacionados a práticas sustentáveis passaram a ocupar um papel central na decisão de compra (Pereira et al., 2024).

Já o estudo conduzido por Silva et al. (2021), sobre barreiras à sustentabilidade ambiental na logística da construção civil habitacional, identificou uma baixa consciência ambiental por parte dos consumidores.

[...] a falta de consciência, sobretudo dos impactos ambientais e da quantidade limitada de recursos naturais é citada como um motivo que faz as empresas atrasarem o investimento em alternativas verdes e sustentáveis, justificando que os consumidores não fazem juízo das vantagens que isto representa, além de que os consumidores nem sempre estão dispostos a pagar mais caro pelos produtos.
(Silva et al., 2021, p.11)

Compreendendo que o consumidor desempenha um papel crucial na promoção da sustentabilidade, a conscientização ambiental, ainda limitada no Brasil, não apenas afeta a demanda por produtos verdes, mas também desencoraja empresas a investirem em alternativas sustentáveis.

Uma forma de incentivar construtoras e empresas ligadas ao setor habitacional a buscarem soluções que promovam a sustentabilidade foi a criação de certificações ambientais. Ao estabelecer critérios técnicos e parâmetros de desempenho relacionados ao uso eficiente de recursos, à redução de impactos ambientais e à qualidade dos espaços construídos, essas certificações funcionam como mecanismos de orientação, reconhecimento e valorização do mercado. Além de estimular a incorporação de soluções sustentáveis nos projetos, elas contribuem para a padronização de boas práticas, o aumento da transparência e a conscientização dos agentes envolvidos no processo construtivo.

2.2. Certificações ambientais para materiais

Há certificações específicas voltadas aos materiais de construção que definem critérios técnicos para orientar a seleção de produtos com menor impacto ambiental e à saúde humana. Esses sistemas de avaliação consideram aspectos como a composição química dos materiais, a presença de substâncias tóxicas, as emissões de poluentes, o ciclo de vida e a transparência das informações fornecidas pelos fabricantes, contribuindo para práticas projetuais mais responsáveis, seguras e alinhadas aos princípios da sustentabilidade.

O *Declare Label*, desenvolvido pelo *International Living Future Institute*, funciona como um instrumento de transparência e rastreabilidade dos materiais de construção, semelhante a um rótulo nutricional. Ele exige que os fabricantes divulguem detalhadamente a composição química de seus produtos e indiquem se estão livres de substâncias presentes na Red List, permitindo que projetistas e pesquisadores façam escolhas mais conscientes e alinhadas aos princípios da arquitetura sustentável e saudável (*International Living Future Institute*, [s.d.]).

A certificação *Cradle to Cradle Certified* avalia a sustentabilidade dos materiais a partir de uma perspectiva de ciclo de vida e economia circular, considerando aspectos como saúde dos materiais, reutilização, energia renovável e gestão da água. Para isso, utiliza uma lista de substâncias banidas ou restritas, assegurando que os produtos certificados não contenham compostos tóxicos e possam ser reinseridos de forma segura nos ciclos técnicos ou biológicos (*Cradle to Cradle Products Innovation Institute*, [s.d.]).

Por fim, o sistema DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*), amplamente utilizado na Europa, avalia a sustentabilidade das edificações de forma integrada, considerando critérios ambientais, econômicos e socioculturais. No que se refere aos materiais, o DGNB adota listas de substâncias nocivas e critérios rigorosos de avaliação toxicológica, reforçando a importância da saúde dos usuários e da redução dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das construções (*Deutsche Gesellschaft Für Nachhaltiges Bauen*, [s.d.]).

O Quadro 1 a seguir apresenta uma síntese comparativa das principais semelhanças e diferenças entre as certificações analisadas.

Quadro 1 - Análise das diferenças e similaridades entre as certificações para materiais estudadas

CERTIFICAÇÃO PARA MATERIAIS	FOCO / DIFERENCIAL	ASPECTO EM COMUM COM AS DEMAIS CERTIFICAÇÕES
Declare Label	Incentiva a transparência na produção e composição e a redução de substâncias nocivas	Funciona como "rótulo de ingredientes"; detalha composição química e presença de substâncias da Red List
Cradle to Cradle Certified	Valoriza materiais seguros, recicláveis e com menor impacto ambiental	Abordagem de ciclo fechado (economia circular); avalia saúde do material, reutilização, energia, água e justiça social
DGNB	Incentiva uso de materiais sustentáveis com base em ciclo de vida	Forte enfoque em Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); análise quantitativa dos impactos ambientais dos materiais

Fonte: elaborada pela autora (2026)

O quadro destaca as diferenças de metodologias de avaliação adotadas, ressaltando as distinções quanto ao enfoque dado à transparência das informações, à rastreabilidade dos

insumos e à mensuração dos impactos ambientais. Dessa forma, algumas certificações se destacam por incorporar instrumentos como a análise do ciclo de vida, permitindo uma abordagem quantitativa dos impactos ambientais dos materiais. Outras, apresentam critérios mais qualitativos, focando em diretrizes gerais para a seleção de materiais de menor impacto.

Nesse sentido, a tabela evidencia que as certificações não apenas diferem em seus objetivos e escopos, mas também na profundidade e na forma como abordam a sustentabilidade dos materiais, o que reforça a importância de uma análise criteriosa na escolha do sistema mais adequado ao contexto do projeto.

2.3. Certificações ambientais para edificações e sua relação com materiais sustentáveis

As certificações ambientais para edificações surgiram como instrumentos para promover práticas sustentáveis no setor da construção civil, estabelecendo critérios claros e mensuráveis de desempenho ambiental, social e energético. Elas funcionam como selos de qualidade que orientam projetos e edificações em direção a uma maior responsabilidade ambiental, incentivando o uso racional de recursos, a eficiência energética e o conforto dos usuários. Ao assegurar a conformidade com padrões reconhecidos internacionalmente, essas certificações fortalecem a credibilidade dos empreendimentos e contribuem para o desenvolvimento urbano mais consciente e sustentável. Algumas das certificações mais utilizadas na construção civil brasileira serão analisadas, considerando o impacto dos materiais construtivos na pontuação das edificações.

2.3.1. Selo LEED

“LEED” é a sigla utilizada para “*Leadership in Energy and Environmental Design*”, que em português significa “Liderança em Energia e Design Ambiental”. O LEED é um sistema internacional de certificação ambiental com o intuito de incentivar a sustentabilidade. São analisados oito critérios: localização e transporte, espaço sustentável, eficiência do uso de água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade ambiental interna, inovação e processos, créditos de prioridade regional (GBC Brasil, [s.d.]).

Entre os diversos aspectos analisados, a escolha dos materiais construtivos impacta diretamente em várias categorias da pontuação final. Os materiais utilizados no projeto são avaliados conforme seu ciclo de vida, origem, composição química, impacto ambiental, capacidade de reutilização e eficiência no uso de recursos (GBC Brasil, [s.d.]).

O uso de materiais com conteúdo reciclado contribui para a obtenção de créditos, pois promove a reutilização de recursos e diminui a demanda por matérias-primas virgens. Outro aspecto relevante está relacionado ao uso de materiais regionais, que são aqueles extraídos, produzidos ou montados dentro de um raio de 160 km ou 800 km, dependendo da versão da certificação pretendida. Essa prática recebe créditos por diminuir os impactos ambientais associados ao transporte e estimular o desenvolvimento econômico local. Também se destaca o incentivo à utilização de madeiras certificadas pelo FSC (*Forest Stewardship Council*), que comprovam manejo florestal responsável, bem como materiais provenientes de fontes renováveis de rápido reabastecimento, os quais contribuem positivamente para a pontuação ambiental do projeto (GBC Brasil, [s.d.]).

A certificação também analisa a qualidade do ar interno, valorizando materiais com baixas emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Produtos como tintas, adesivos, selantes, carpetes e mobiliários devem atender aos limites estabelecidos. Além disso, o LEED incentiva o uso de produtos que possuam Declarações Ambientais de Produto (DAP) - documento que apresenta os impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida -, por meio das quais é possível comprovar a redução dos impactos ambientais associados à fabricação dos materiais. Esse incentivo se estende aos sistemas de Análise de Ciclo de Vida, que também contribuem com créditos adicionais ao demonstrar a redução de emissões de carbono e do consumo energético durante todo o ciclo de vida do produto ou sistema construtivo. Para algumas classificações do LEED, os materiais podem representar mais de 20% da pontuação total, especialmente quando combinam baixo impacto ambiental com inovação e desempenho energético (GBC Brasil, [s.d.]).

2.3.2. Selo AQUA

A sigla “AQUA” representa o termo “Alta Qualidade Ambiental”. A certificação surgiu em 2008, como um processo de gestão do projeto em todas as fases, podendo ser emitido um certificado em cada uma delas - programa, concepção, realização, operação e demolição. O certificado é emitido em até 30 dias e tem validade internacional, uma vez que essa certificação foi elaborada com inspiração na norma francesa “*Démarche HQE*”. Apesar disso, é baseada na regulamentação e nas normas brasileiras (UGREEN [s.d.]).

A escolha dos materiais construtivos impacta a pontuação final do empreendimento e o nível alcançado. Os materiais são avaliados nos âmbitos ambientais, sociais e econômicos, desde a

extração da matéria-prima até o fim de vida útil do edifício. Assim, a certificação considera aspectos como o uso de recursos renováveis e a aplicação de materiais com menor emissão de CO₂ incorporado. Entre os critérios avaliados, destacam-se a Declaração Ambiental de Produto, a utilização de materiais com origem certificada, como madeiras com selos FSC ou PEFC, e o emprego de materiais reciclados ou recicláveis, que contribuem para a redução de resíduos e para a economia circular no setor da construção civil (UGREEN [s.d.]).

Ademais, materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis somam pontos na categoria de saúde e bem-estar, garantindo conforto e segurança aos usuários. A escolha de materiais com menor geração de resíduos e com embalagens reutilizáveis também contribui para a redução do impacto durante a fase de obra, agregando pontuação nas categorias “eco-gestão” e “responsabilidade ambiental do canteiro”. Além disso, materiais com alta durabilidade, baixa demanda por manutenção e possibilidade de reuso prolongam a vida útil da edificação e minimizam impactos futuros, contribuindo positivamente na avaliação de desempenho no ciclo de vida (UGREEN [s.d.]).

O uso de materiais sustentáveis é avaliado, principalmente, pela categoria “Perfil de Qualidade Ambiental (PQA)”, abrangendo diferentes aspectos do desempenho ambiental das edificações, como a “eco-construção”, que valoriza práticas construtivas de baixo impacto; a “gestão de energia”, voltada à eficiência no consumo e à redução das emissões de carbono; e a “gestão da água”, que incentiva o uso racional e o reaproveitamento dos recursos hídricos. Também se destacam a “gestão dos resíduos de obra”, relacionada à minimização e ao manejo adequado dos resíduos gerados, e a “manutenção e durabilidade”, que consideram a vida útil e o desempenho dos materiais ao longo do tempo. A “eco-gestão” e a relação do edifício com o seu entorno buscam integrar o empreendimento ao contexto urbano e ambiental de forma equilibrada (UGREEN [s.d.]).

Além disso, a escolha integrada dos produtos, sistemas e processos construtivos reforça a importância da compatibilidade entre os componentes da edificação, promovendo eficiência e sustentabilidade. Por fim, as categorias ligadas à saúde e conforto — como qualidade sanitária dos ambientes, qualidade do ar interior e conforto higrotérmico, acústico e visual — garantem condições adequadas de bem-estar aos usuários, consolidando o compromisso com a sustentabilidade e a qualidade de vida. Ao contrário do LEED, que atribui pontos específicos a cada crédito, o sistema AQUA estabelece níveis de desempenho para cada categoria ambiental (UGREEN [s.d.]).

2.3.3. Selo Casa Azul

O Selo Casa Azul foi criado pela Caixa Econômica Federal para certificar empreendimentos habitacionais com soluções eficientes ao longo do seu ciclo de vida. Ao atingir os critérios exigidos, o projeto recebe o selo “Casa Azul + CAIXA Projetar” e ao ser executado conforme o projeto certificado recebe o selo “Casa Azul + CAIXA Habitar”. O selo é destinado a construtoras, incorporadoras, poder público local, empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades organizadoras sem fins lucrativos, sendo aplicável a qualquer projeto de produção de empreendimentos habitacionais, nas linhas de financiamento da CAIXA (Caixa Econômica Federal, 2020).

A escolha dos materiais construtivos se enquadra em critérios como gestão de recursos naturais, conforto, saúde, durabilidade e responsabilidade social. A pontuação relacionada aos materiais está distribuída em diferentes categorias do sistema de avaliação, como “Qualidade Urbana e Bem-Estar”, “Gestão Eficiente de Recursos”; “Projeto Sustentável”; “Conforto Ambiental”; “Práticas Sociais” e “Inovação”. Assim, a interferência dos materiais na pontuação pode representar entre 15% e 25% da pontuação total do empreendimento, dependendo da versão e da tipologia do projeto (Caixa Econômica Federal, 2020).

Materiais de origem sustentável, como madeira certificada FSC, bambu e tijolos de solo-cimento, elevam o nível de classificação na categoria “Projeto Sustentável”. O uso de materiais reciclados, como aço reaproveitado, telhas produzidas a partir de plástico reciclado e concretos com adição de resíduos, gera pontuação adicional nas categorias “Inovação” e “Gestão de Recursos”. Já os materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis, como tintas atóxicas e revestimentos naturais, contribuem para melhorar o nível em “Conforto Ambiental”, garantindo ambientes mais saudáveis (Caixa Econômica Federal, 2020).

2.3.4. Selo PBE Edifica

O Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) avalia o desempenho energético de edificações, atribuindo uma etiqueta de eficiência energética para projetos e construções concluídas, classificando-os de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Essa etiqueta informa o potencial de consumo energético do edifício e indica o nível de eficiência em sistemas como envoltória, iluminação e climatização (PROCEL, [s.d.]).

A escolha dos materiais de construção influencia principalmente no que diz respeito à envoltória da edificação e ao desempenho térmico dos materiais, com impacto nos níveis de eficiência. Dessa forma, os materiais não são avaliados quanto aos seus aspectos ambientais ou sociais, e sim em relação à redução da carga térmica interna (PROCEL, [s.d.]).

O uso de materiais com alto isolamento térmico pode elevar a classificação do edifício, uma vez que paredes compostas por materiais de baixa condutividade térmica, como tijolos de solo-cimento, reduzem a necessidade de climatização artificial, favorecendo o alcance de níveis de eficiência mais altos. Já as coberturas e fachadas com materiais de alta reflexão, como revestimentos reflexivos, pinturas frias de alta refletância solar e coberturas verdes, contribuem para melhorar o desempenho térmico da edificação, ampliando sua eficiência energética e pontuação (PROCEL, [s.d.]).

Na categoria de inovação e sustentabilidade, ainda que o foco do PBE Edifica seja a eficiência energética, o emprego de materiais oriundos de fontes renováveis ou recicladas é valorizado como uma estratégia complementar, especialmente quando associado à melhoria do desempenho térmico e ao aumento do conforto ambiental (PROCEL, [s.d.]).

O Quadro 2 a seguir apresenta uma síntese comparativa das principais semelhanças e diferenças entre as certificações analisadas.

Quadro 2 - Análise das diferenças e similaridades entre as certificações para edificações estudadas

CERTIFICAÇÃO PARA EDIFICAÇÕES	FOCO / DIFERENCIAL	ASPECTO EM COMUM COM AS DEMAIS CERTIFICAÇÕES
AQUA - HQE	Forte adaptação ao contexto brasileiro; maior ênfase em conforto e qualidade sanitária dos materiais (baixa toxicidade, emissões internas)	Incentiva uso de materiais com menor impacto ambiental, duráveis, com origem controlada e menor emissão de poluentes
LEED	Sistema baseado em pontuação; grande valorização das Declarações Ambientais de Produto e transparência na cadeia produtiva	Estimula materiais reciclados, regionais, certificados e de baixo impacto ambiental
CASA AZUL	Foco em habitação social; prioriza viabilidade econômica, acessibilidade e uso racional de materiais locais	Incentiva materiais sustentáveis, duráveis e de menor impacto ambiental
PBE EDIFICA	Não foca diretamente em sustentabilidade dos materiais, mas sim no desempenho energético global da envoltória e sistemas	Considera impacto dos materiais no desempenho energético da edificação

Fonte: elaborada pela autora (2026)

O quadro permite observar que as certificações voltadas para edificações tendem a adotar uma abordagem mais abrangente, contemplando diferentes dimensões da sustentabilidade, como eficiência energética, uso racional de recursos, qualidade ambiental interna e desempenho global do edifício.

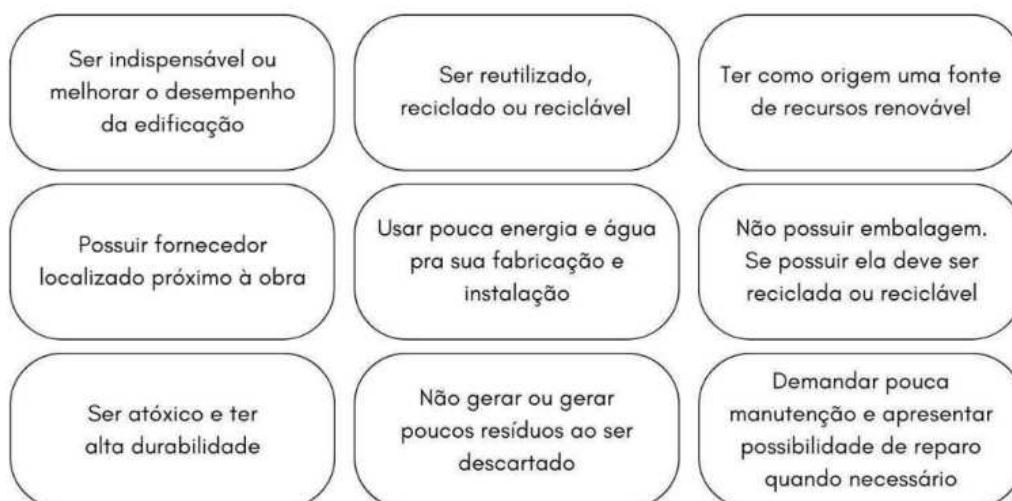
No que se refere aos materiais, verifica-se que, embora todos os sistemas considerem sua relevância, há variações quanto ao nível de detalhamento e aos critérios adotados. Algumas certificações priorizam aspectos como origem dos materiais, durabilidade e impacto ambiental, enquanto outras incorporam ferramentas mais específicas, como declarações ambientais e análises de ciclo de vida. Além disso, nota-se que determinadas certificações apresentam maior adaptação ao contexto local, enquanto outras seguem diretrizes internacionais mais padronizadas.

Assim, a tabela permite compreender que, embora exista um alinhamento geral quanto aos princípios da sustentabilidade, as certificações diferem em suas abordagens e níveis de exigência, o que influencia diretamente sua aplicação prática.

2.4. Materiais construtivos sustentáveis

A escolha dos materiais construtivos em uma edificação desempenha um papel fundamental na promoção de construções mais alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, existem alguns critérios a serem observados no momento de escolha dos materiais para que sejam considerados ecológicos e, para atendê-los, é importante que atuem conforme os itens descritos na Figura 2, baseados nos conceitos de Linhares (2014). Cabe ressaltar que nem sempre todas as condições ideais são atendidas pelo material, mas é importante buscar por produtos que atendam à maior quantidade de critérios possível.

Figura 2 - Critérios para a escolha de materiais construtivos



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Dessa forma, foram selecionados alguns materiais sustentáveis para a análise de suas propriedades, os quais poderão, posteriormente, ser avaliados quanto à sua viabilidade

econômica em comparação aos materiais convencionais. Os materiais escolhidos estão apresentados na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Categorização dos materiais construtivos sustentáveis estudados



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

2.4.1. Tijolo de solo-cimento

O modo de construção mais utilizado no Brasil é a alvenaria, comumente executada com tijolos cerâmicos. Uma opção que busca ser mais sustentável e com capacidade para substituí-los é o tijolo de solo-cimento. Ele é definido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) como uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento e água, podendo ser acrescidos pigmentos e aditivos com proporções que atendam aos requisitos da norma.

Estabelecendo uma comparação entre os dois materiais, Kozloski et al. (2019) quantificaram a emissão de CO₂ de materiais empregados na construção de duas residências de igual projeto arquitetônico. O uso dos tijolos de solo-cimento apresentou uma redução de 29,5% nas emissões de CO₂ em relação aos tijolos cerâmicos. Essa redução se dá, principalmente, por

conta do processo de fabricação dos tijolos, uma vez que o tijolo de solo - cimento é prensado e não utiliza o processo de queima, necessário para a produção do tijolo cerâmico.

A qualidade desse tipo de tijolo está diretamente relacionada a variáveis do processo produtivo. Elementos como a umidade de moldagem, o tipo de solo utilizado, o modelo de prensa, a proporção solo/cimento, o uso de estabilizantes e o processo de cura são determinantes para obter uma resistência à compressão elevada e uma baixa absorção. O cuidado com esses parâmetros técnicos garante sua consistência em termos de desempenho, o que indica potencial de aplicação em diferentes tipologias construtivas, desde que atendidos os requisitos normativos e de desempenho (Motta et al., 2014).

Outra característica importante é o design do tijolo. Seu formato incorpora furos de dimensões específicas, facilitando a passagem de tubulações elétricas, hidráulicas e de redes de comunicação sem a necessidade de quebrar a peça. Esse aspecto simplifica a execução da obra - reduzindo o tempo de construção em até 30% - e contribui para a integridade final das paredes. A aplicação desse tijolo dispensa a extensa utilização de argamassa, pois seu assentamento se dá por meio de uma cola aplicada em bisnagas, o que acelera o processo de cura - aproximadamente sete dias - e reduz custos operacionais (Santana et al., 2013).

Em relação aos benefícios econômicos, o uso do solo-cimento na fabricação dos tijolos pode diminuir os gastos em até 40% do custo. Essa economia se deve, em grande parte, à possibilidade de utilizar um material de menor custo - o solo, que está disponível em grande volume - e à redução dos gastos com energia e transporte. A menor necessidade de argamassa convencional e o tempo reduzido de execução contribuem para que os investimentos necessários sejam significativamente menores, podendo contribuir para a redução de custos em determinados contextos, especialmente em projetos com restrições orçamentárias (ABCP, 1987).

Ambientalmente, os tijolos ecológicos se destacam pela possibilidade da incorporação de resíduos de construção civil triturados à sua composição. Esses materiais são adicionados com o objetivo de reduzir o uso de cimento (que tem alto impacto ambiental); dar nova utilidade a resíduos que iriam para aterros; ou melhorar propriedades como resistência ou absorção, dependendo do resíduo usado. Dessa maneira, este processo favorece a economia circular, substituindo a extração de matérias-primas virgens pelo reuso de materiais reciclados.

Outro aspecto importante enfatizado é que o uso dos tijolos ecológicos demanda uma mudança de paradigma na indústria da construção. Ao adotar esse material, os profissionais passam a integrar soluções que não só respondem às necessidades técnicas e econômicas dos projetos, mas que também atendem às exigências de responsabilidade socioambiental. Dessa forma, o tijolo de solo-cimento configura-se como uma alternativa que busca conciliar desempenho construtivo e redução de impactos ambientais. Do mesmo modo em que, em uma análise fundamentada na ideia de que a construção moderna não pode se pautar unicamente pela lógica dos custos, o estudo de Santana et al. (2020) demonstra que os projetos podem ser concebidos considerando o bem-estar dos futuros moradores e a preservação ambiental.

2.4.2. Bambu

No Brasil, ações como a Lei nº 12.484/2011, que institui a Política Nacional do Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), demonstram os esforços em fomentar alternativas sustentáveis na construção civil (Brasil, 2011). Esse material apresenta alta resistência estrutural, flexibilidade e potencial para reduzir os custos de obras populares em até 50%. Além disso, o uso de bambu em substituição aos materiais construtivos convencionais, contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais, sendo apontado na literatura como uma alternativa com potencial para redução de impactos ambientais na construção civil (Souza; Meirelles; Rimi, 2022).

A relação resistência/peso do bambu possibilita uma grande flexão sem comprometer a estabilidade estrutural. Essa vantagem permite que o bambu apresente várias aplicações na construção civil, como paredes, forros, pisos e mobiliários. Ambientalmente, o bambu é capaz de absorver grandes quantidades de CO₂ da atmosfera e protege o solo da erosão e aumenta a fertilidade natural (Nogueira et al., 2017).

O cultivo e manejo do bambu apresentam diversas vantagens, das quais se destacam: baixo custo de manejo e investimento financeiro (Singh et al., 2013); rapidez no desenvolvimento (Pereira, 2017); grande capacidade de propagação e regeneração; se desenvolvendo mesmo em solos de baixa fertilidade e climas adversos. Além disso, o bambu pode ser replantado em todas as regiões do país, pois seu plantio não necessita de grande tecnologia, além de ser de fácil transporte devido ao peso reduzido (Nogueira et al., 2017).

De acordo com Beraldo e Freire (2003), o bambu apresenta elevada resistência à tração e considerável resistência à compressão (Oliveira, 2013), sendo a primeira a característica mais relevante, já que pode ser comparada à resistência do aço. As propriedades mecânicas do bambu podem ser observadas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do bambu, pinus e concreto

CARACTERÍSTICAS	BAMBU	PINUS	CONCRETO
Massa específica (kg/m ³)	580 - 700	530	2400
Tração axial (kgf/cm ²)	2400	1000	20
Compressão axial (kgf/cm ²)	1200	1200	240
Energia de produção (mj/m ²)	30	80	240

Fonte: Adaptado de Almeida (2023). Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3820/3/tcc_Victor%20Almeida.pdf. Acesso em 23 ago. 2025.

Algumas normas tratam da utilização desse material na construção, como a ISO 22157 - Determinação de propriedades físicas e mecânicas do bambu, dividida em duas partes: Parte 1 – Requisitos e Parte 2 – Manual de laboratório. A parte de requisitos fornece orientações para testes a serem realizados para determinar as propriedades do bambu como material construtivo - teor de umidade, massa por volume, encolhimento, compressão, flexão, cisalhamento e tração. O manual de laboratório complementa as informações necessárias para os testes laboratoriais (Marçal, 2018).

Para serem utilizados na construção civil, os bambus devem passar por tratamentos para que alcancem a resistência necessária às intempéries e a ataques de insetos e fungos. Esse tratamento é muito importante para assegurar a longevidade do material (Santos; Madalosso, 2020).

No Brasil, o Comitê de Estudo de Estruturas de Bambu elaborou dois projetos de normas técnicas para construções com bambu. A NBR 16828-1: Projeto de estruturas de bambu, aborda os requisitos básicos para projetos estruturais com bambu, tratando das propriedades físicas e mecânicas, bem como acerca da sua durabilidade. A NBR 16828-2 estabelece métodos de ensaios para determinação das propriedades físicas - teor de umidade, massa por volume e retração - e mecânicas - resistência à compressão, à flexão, ao cisalhamento e à tração (Nunes; Sobrinho Júnior; Pastor, 2021).

Embora o bambu seja um material tradicionalmente utilizado por comunidades rurais e indígenas, ele ainda é pouco valorizado na arquitetura moderna. A falta de uma literatura consolidada e a escassez de estudos técnicos dificultam a compreensão do seu comportamento pleno por parte dos profissionais da área (Souza; Meirelles; Rimi, 2022).

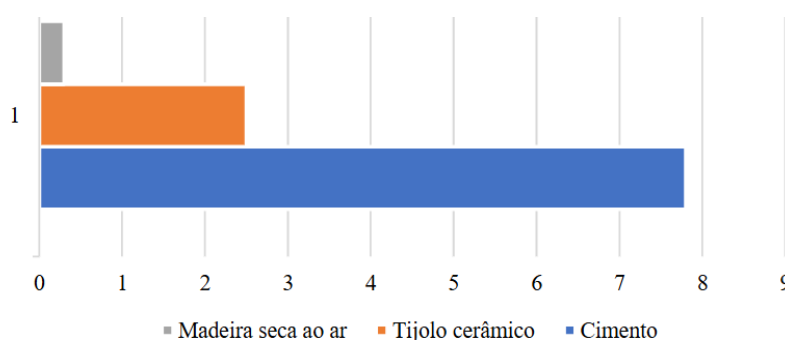
2.4.3. Madeira

A madeira é amplamente reconhecida como uma solução sustentável no setor da construção, devido à sua acessibilidade e sustentabilidade, uma vez que o material emite significativamente menos gases de efeito estufa e requer um consumo de água inferior em comparação a materiais como concreto e tijolos. Assim, as estruturas pré-fabricadas de madeira se destacam por sua maior eficiência e menor geração de desperdícios (Garay-Moena e Benedetti-Ruiz, 2024).

Para o uso sustentável de madeira em construções é necessário empregar espécies provenientes de manejo florestal responsável, com certificação de origem, associando técnicas construtivas que minimizem o desperdício e maximizem a durabilidade do material.

O uso desse material na construção apresenta diversos benefícios ambientais e econômicos. Por ser um material renovável e de baixa pegada de carbono, contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, já que armazena o CO₂ absorvido durante o crescimento das árvores (Dóro; Júnior; Neto, 2023). O Gráfico 3 traz uma comparação entre a energia incorporada no cimento, no tijolo cerâmico e na madeira.

Gráfico 3 - Energia incorporada do cimento, tijolo cerâmico e madeira (MJ/kg)



Fonte: Dóro; Júnior; Neto (2023)

Além disso, sua baixa condutividade térmica favorece o conforto térmico interno, reduzindo a necessidade de climatização artificial e o consumo de energia. A madeira também possibilita rapidez construtiva, especialmente em sistemas pré-fabricados, o que diminui prazos e custos de obra, além de gerar menos resíduos e demandar menor uso de água em comparação a métodos convencionais. Versátil e esteticamente atrativa, ela se integra bem a diferentes

estilos arquitetônicos, oferecendo soluções criativas e sustentáveis para edificações de alto desempenho ambiental (Habowski, 2018).

Apesar de suas vantagens, o uso da madeira na construção apresenta alguns desafios que precisam ser considerados no projeto e na execução. A percepção cultural, especialmente no Brasil, ainda associa a madeira a construções de baixa durabilidade, o que exige ações de conscientização e divulgação de suas potencialidades estruturais. Além disso, o material requer manutenção periódica e cuidados específicos para proteção contra umidade, cupins e fungos, garantindo sua longevidade. Outro obstáculo é a disponibilidade e o custo da madeira certificada, que nem sempre é acessível ou amplamente ofertada no mercado. Além disso, ainda há necessidade de maior padronização e difusão de sistemas industrializados para ampliar a confiança e o uso da madeira em larga escala (Habowski, 2018).

Entre os aspectos importantes para a construção sustentável com madeira, destacam-se a escolha adequada da espécie, priorizando aquelas naturalmente resistentes ou provenientes de manejo florestal certificado, e a aplicação de tratamentos preservantes contra agentes biológicos, como cupins e fungos. É fundamental adotar soluções construtivas que evitem o acúmulo de umidade, como beirais e sistemas de drenagem eficientes, garantindo maior durabilidade (Oliveira et al., 2022).

A definição do sistema construtivo deve considerar as demandas estruturais, o desempenho térmico e acústico desejado, bem como a integração com outros materiais, como aço e concreto, quando necessário. Além disso, o atendimento às normas técnicas e a observância de certificações ambientais são essenciais para assegurar qualidade, segurança e sustentabilidade ao projeto (Oliveira et al., 2022).

Entre as certificações mais relevantes, destacam-se o *Forest Stewardship Council* (FSC) e a Certificação Florestal Brasileira (CERFLOR), que asseguram a origem responsável e o manejo florestal sustentável da madeira utilizada. No âmbito normativo, a NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira - estabelece critérios técnicos para dimensionamento e execução, enquanto selos de sustentabilidade como LEED e AQUA-HQE valorizam o uso de materiais certificados e de baixo impacto ambiental. Além disso, sistemas de gestão ambiental, como a ISO 14001, contribuem para a organização e monitoramento de processos, reforçando o compromisso com práticas construtivas mais eficientes e ambientalmente responsáveis (Oliveira et al., 2022).

2.4.4. Transformações na produção de concreto

O estudo de Restrepo-Ramírez et al. (2024) evidencia o uso da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na produção de concreto como estratégia para otimizar as proporções dos materiais e, conseqüentemente, reduzir impactos ambientais e econômicos. A pesquisa parte da hipótese de que, sem a necessidade de aditivos especiais, o emprego de agregados graúdos de maior dimensão pode diminuir o consumo de cimento — material intensivo em energia e emissões de gases de efeito estufa —, resultando na mitigação das emissões de CO₂ e na redução do consumo energético. Com a implementação de misturas otimizadas, foi possível alcançar uma redução de até 15% nas emissões de CO₂, demonstrando o potencial de tornar a produção de concreto mais sustentável e economicamente viável. Assim, a investigação reforça que a diminuição do uso de cimento constitui uma medida eficaz para reduzir a pegada ecológica do setor. Indicadores como Potencial de Aquecimento Global, consumo de energia não renovável e geração de resíduos confirmam os benefícios ambientais dessa abordagem, a qual se alinha às metas globais de sustentabilidade, incluindo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, e contribui para uma construção civil mais responsável.

Há diferentes estratégias para tornar o concreto mais sustentável, entre as quais se destacam o uso de materiais derivados de resíduos industriais, como cinzas volantes, escórias de alto-forno, sílica ativa, metacaulim e lama vermelha. Segundo Fachini et al. (2023), essas adições não apenas contribuem para a redução das emissões de CO₂ e do consumo energético na produção de cimento, mas também podem melhorar propriedades físicas e mecânicas, como resistência e trabalhabilidade. Os ensaios realizados indicam que a incorporação desses componentes em misturas aglomerantes apresenta resultados diversos: a sílica ativa, por exemplo, aumenta a resistência à compressão ao ampliar a área superficial da mistura, mas demanda maior quantidade de água e pode prolongar o tempo de pega. Esses achados demonstram que, embora as misturas alternativas apresentem potencial sustentável, o desempenho estrutural nem sempre atinge o nível dos concretos convencionais, o que exige ajustes nas formulações e maior controle das variáveis de mistura. Assim, a utilização de resíduos reciclados configura-se como uma estratégia promissora, capaz de conciliar sustentabilidade, viabilidade econômica e avanços tecnológicos, evidenciando a capacidade transformadora do setor da construção civil.

Diversas pesquisas têm buscado reduzir a dependência do cimento na produção de concreto. Para isso, além da incorporação de adições minerais já amplamente investigadas, outras estratégias vêm sendo exploradas. Entre elas, destacam-se o uso de geopolímeros, que apresentam alto potencial de substituir parcial ou totalmente o cimento, a incorporação de nanomateriais (como nanotubos de carbono e nano sílica), capazes de melhorar o desempenho mecânico e reduzir a necessidade de ligante. Além disso, estudos recentes investigam o uso de carbonatação acelerada, técnica em que o concreto captura CO₂ durante a cura, armazenando-o de forma estável. Essas alternativas reforçam a possibilidade de alinhar a construção civil a metas globais de sustentabilidade, ampliando o leque de soluções para mitigar os impactos ambientais do setor (Santana; Pereira, 2020).

2.4.5. Telha tubo

As telhas feitas a partir da reciclagem de tubos de creme dental também são conhecidas como “telhas tubo”. Elas são constituídas de três camadas: uma manta de alumínio na parte externa, material reciclado de embalagens de longa vida no meio e tubos de creme dental reciclados para a camada interna.

A reciclagem do alumínio demanda aproximadamente 5% da energia necessária para sua produção primária, o que resulta em uma redução de até 95% das emissões de CO₂ por tonelada de material reciclado. Esse dado reforça o potencial ambiental do reaproveitamento de materiais multicamadas, como os presentes nos tubos de pasta de dente. Sob o ponto de vista técnico, as telhas produzidas a partir desses resíduos apresentam desempenho satisfatório, destacando-se pela boa resistência à flexão, menor peso, adequada impermeabilidade, maior isolamento térmico e durabilidade ampliada, além de não oferecerem riscos à saúde humana. Tais características evidenciam que materiais reciclados podem atender às exigências da construção civil de forma eficiente (Pereira et al., 2025).

Nesse contexto, as telhas sustentáveis configuram-se como uma alternativa relevante para a gestão ambiental, considerando que os tubos de pasta de dente são frequentemente descartados de maneira inadequada, possuem difícil reciclabilidade e apresentam elevado tempo de decomposição. A transformação desses resíduos em insumos construtivos contribui para a mitigação de impactos ambientais e para a redução do volume de resíduos destinados a aterros (Pereira et al., 2025).

Sob a perspectiva econômica, projeta-se que a produção dessas telhas se torne progressivamente viável, especialmente diante de incentivos políticos e da ampliação da escala produtiva. Embora os custos iniciais relacionados à implantação de equipamentos e à logística possam ser elevados, a matéria-prima apresenta custo praticamente nulo, por se tratar de resíduos descartados. Dessa forma, ao longo do tempo, essa alternativa tende a se tornar competitiva, conciliando benefícios econômicos e ambientais (Pereira et al., 2025).

Além disso, as telhas sustentáveis se inserem no conceito de economia circular, ao promoverem a reinserção de resíduos no ciclo produtivo como matéria-prima de valor. Quando adotadas em larga escala, podem contribuir para a redução da extração de recursos naturais, como minérios e fibras minerais, para a valorização de resíduos anteriormente considerados problemáticos e para o fortalecimento das cadeias de reciclagem e logística reversa, incentivando a articulação entre cooperativas, indústrias e consumidores (Pereira et al., 2025).

2.4.6. Telha de fibra vegetal (papel reciclado)

O papel é um material com boa reciclabilidade. Assim, o resíduo de papel é classificado como resíduo classe B, segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), sendo aqueles que permitem reciclagem secundária, ou seja, que entram no processo produtivo de outro material. Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, [s.d.]), 85% do total de papel produzido em 2022 foi reciclado, o que mantém o Brasil entre os principais países recicladores de papel do mundo. Em 2018, 5,1 milhões de toneladas retornaram ao processo produtivo.

A telha de fibra vegetal elaborada a partir de resíduos de papel, tem como principais componentes o papel reciclável e o cimento asfáltico de petróleo (CAP), também conhecido como betume. Esse material, subproduto do refino do petróleo, caracteriza-se por sua viscosidade e pela capacidade de se tornar rígido em determinadas temperaturas, permitindo a aglutinação e aderência dos componentes. Além disso, apresenta elevada impermeabilidade e estabilidade ao longo do tempo, sendo amplamente utilizado em revestimentos e como proteção superficial (Lessa, 2009).

A combinação desses materiais resulta em um elemento construtivo com desempenho satisfatório sob diferentes aspectos, destacando-se pelo bom comportamento térmico, elevada

flexibilidade, resistência mecânica e à corrosão, durabilidade e diversidade de cores disponíveis. Soma-se a isso o fato de ser um material leve, que possibilita a adoção de sistemas estruturais mais econômicos, além de apresentar elevada estanqueidade e não contribuir para a propagação de chamas (Barbosa Júnior, 2021).

Por outro lado, sua aplicação demanda cuidados específicos, especialmente quanto à precisão na instalação, a fim de garantir o desempenho adequado. O material também pode apresentar suscetibilidade à proliferação de fungos e mofo em determinadas condições, o que implica a necessidade de manutenções mais frequentes ao longo do tempo. Ademais, quando exposto às intempéries, o betume pode sofrer processos de envelhecimento, resultando no endurecimento das camadas superficiais e na formação de fissuras (Barbosa Júnior, 2021).

Por fim, destaca-se que, quando aquecido, o betume pode liberar vapores orgânicos potencialmente tóxicos. A exposição a essas emissões pode causar irritações na pele e nos olhos, tornando necessário o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como máscaras com filtro para vapores orgânicos, luvas, macacão de manga longa, botas e óculos de proteção (Petrobrás, 2005).

2.4.7. Telha Taubilha

As telhas de taubilha são pequenas e planas, produzidas com madeira Pinus. São consideradas ecológicas por terem como matéria-prima madeira proveniente de área reflorestada, uma vez que nas áreas de manejo florestal é permitida a retirada de madeira sem que haja prejuízo ao meio ambiente. Essa permissão está prevista no artigo 12, do Código Florestal Brasileiro elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 1965):

Art. 12. Nas florestas plantadas, não consideradas de preservação permanente, é livre a extração de lenha e demais produtos florestais ou a fabricação de carvão. Nas demais florestas, dependerá de norma estabelecida em ato do Poder Federal ou Estadual, em obediência a prescrições ditadas pela técnica e às peculiaridades locais.

Essas telhas são comumente empregadas na cobertura de quiosques e residências com arquitetura rústica, sendo necessário o tratamento contra agentes biológicos, como fungos e insetos, com arseniato de cobre cromatado. Ademais, deve ser utilizada manta impermeabilizante entre a telha e a estrutura de suporte, a fim de garantir a estanqueidade do

sistema. A manta de impermeabilização deve ser constituída por duas faces de alumínio e núcleo de polietileno (Lessa, 2009).

A taubilha é indicada para telhados com elevados ângulos de inclinação, característica que possibilita sua aplicação em edificações situadas em regiões sujeitas à ocorrência de neve, favorecendo o escoamento e evitando o acúmulo sobre a cobertura (Lessa, 2009).

2.4.8. Cobertura verde

As coberturas verdes foram introduzidas na arquitetura na década de 1980, período marcado pelas primeiras discussões globais sobre sustentabilidade. Elas surgiram como uma solução inovadora ao transformar as coberturas convencionais das edificações em espaços mais ecológicos, onde uma camada de vegetação é disposta sobre diferentes estratos. Além de agregar valor estético às construções, oferecem vantagens funcionais, como o escoamento eficiente das águas pluviais, sendo uma alternativa importante para mitigar problemas de alagamento em áreas urbanas densamente ocupadas. Além disso, contribuem para a regulação térmica em ambientes urbanos ao reduzir os efeitos das ilhas de calor, melhorando o microclima e aumentando a umidade local (Casagrande; Tavares; Noya, 2023).

Outra vantagem desse tipo de cobertura é a redução da temperatura interna do imóvel, o que minimiza o consumo de energia pelo uso de equipamentos de ar condicionado (Oliveira et al., 2023). A captura de CO₂ por meio do processo de fotossíntese também é uma das vantagens, visto que o ajardinamento com cobertura vegetal pode reter entre 6,75 e 17,1 kg de carbono por metro quadrado, sendo que cada quilo de carbono fixado corresponde a 3,66 kg de CO₂ sequestrado (Screnski, 2015). Há ainda, a estimulação da biodiversidade, criando novos habitats de vida animal em ambientes urbanos ou recriando habitats que foram perdidos durante o desenvolvimento da cidade (Casagrande; Tavares; Noya, 2023).

Entretanto, algumas desvantagens podem ser identificadas. Entre elas, destaca-se a necessidade de manutenção contínua, que envolve irrigação, adubação, podas e controle de pragas para garantir o desempenho e a estética da cobertura. Outra questão é o peso adicional na estrutura, já que o substrato úmido e a vegetação aumentam a carga sobre a cobertura, exigindo cálculo estrutural adequado e, em alguns casos, reforços. Por esse motivo, nem todo prédio ou residência pode receber uma cobertura verde sem adaptações estruturais significativas. Além disso, há o consumo de água, pois, embora seja possível projetar com

espécies de baixa demanda hídrica, em muitos casos a irrigação se torna necessária, especialmente durante períodos de estiagem (Casagrande; Tavares; Noya, 2023).

As coberturas verdes são classificadas em três tipologias: extensivas, semi-intensivas e intensivas. Essa classificação diz respeito ao tipo de vegetação que será empregado e, conseqüentemente, à espessura da camada de substrato que será necessária, conforme consta no Quadro 3. A Figura 4 ilustra como é composta a estrutura da cobertura verde.

Quadro 3 - Classificação das coberturas verdes

Classificação	Telhado verde extensivo	Telhado verde semi intensivo	Telhado verde intensivo
Imagem descritiva			
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente
Tipo de plantas	Musgos; suculentas; herbáceas; graminéas	Herbáceas; graminéas; arbustos	Arbustos e árvores
Custo	Baixo	Médio	Alto
Peso	60-150 kg/m²	120-200 kg/m²	180-500 kg/m²
Uso	Camada de proteção ecológica	Telhado verde projetado	Terraço jardim
Espessura substrato	60-150mm	150-300mm	>300mm

Fonte: Adaptado por Casagrande; Tavares e Noya (2023) de Besir e Cuce (2018). Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8670262/33200>. Acesso em: 21 ago. 2025.

Figura 4 - Componentes da cobertura verde



Fonte: Casagrande (2020). Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/76605>. Acesso em 3 set. 2025.

O sistema extensivo é caracterizado pelo seu baixo peso e por uma camada de substrato fina, o que reduz a sobrecarga estrutural e facilita a manutenção. Assim, essa tipologia frequentemente demonstra ser a solução mais viável e econômica para a expansão da área verde em projetos urbanos (Oliveira et al, 2023).

2.4.9. Piso laminado de bambu

O bambu é uma das plantas de crescimento mais rápido do mundo, algumas espécies crescem até 91 cm por dia. Isso significa que pode ser colhido em 3 a 5 anos, em comparação com 10-20 anos para a maioria das madeiras maciças, tornando-o um recurso renovável muito mais rápido. Após o corte, o bambu continua crescendo a partir de suas raízes, não exigindo replantio. Isso evita a erosão do solo e permite uma colheita sustentável sem prejudicar o ecossistema. O bambu também absorve dióxido de carbono e produz até 35% mais oxigênio do que árvores de tamanho equivalente, ajudando na mitigação das mudanças climáticas. Por isso, o bambu é uma alternativa à madeira como material de construção, reduzindo a demanda por madeiras de florestas que podem estar em risco de desmatamento. O cultivo de bambu ainda requer menos recursos como água e agroquímicos em comparação com outras culturas de plantação ou árvores de madeira, o que diminui o impacto ambiental geral (Centro Brasileiro de Inovação e Sustentabilidade, 2023).

O piso de bambu é produzido a partir da espécie Mossô, reconhecida por sua elevada dureza e resistência, atingindo maturidade entre cinco e sete anos. Seu processo de fabricação é detalhado e envolve etapas como fervura das varetas, secagem para eliminação da umidade, cozimento pressurizado com adesivos plastificantes, nova secagem, corte, lixamento, laminação e cura em luz ultravioleta, finalizando com inspeção de qualidade antes da comercialização. Graças ao alto teor de fibras, que garante maior densidade e resistência em comparação à madeira tradicional, os pisos de bambu recebem encaixes macho e fêmea em todos os lados, facilitando e agilizando a instalação. Em relação à estética, possui visual exclusivo, originado da prensagem das ripas. O piso pode apresentar acabamento fosco ou brilhante. Para sua aplicação, exige apenas contrapiso nivelado e previamente impermeabilizado (Júnior, 2008).

O mercado global está testemunhando uma ascensão do bambu como escolha em setores variados. De acordo com o estudo "Previsão do Mercado de Bambu até 2030", essa tendência é um sinal claro de um mercado em expansão. As projeções indicam um crescimento

animador no mercado global de bambus, saltando de US\$ 59 bilhões em 2022 para US\$ 88 bilhões até 2030, com uma sólida taxa de crescimento anual de 5% ao longo dos anos. No Brasil as importações de pisos de bambu apresentaram, em 2023, um aumento de 120% nas importações em relação a 2022 (Centro Brasileiro de Inovação e Sustentabilidade, 2023).

Já são mais de 10 milhões de metros quadrados de pisos e revestimentos de bambu instalados no mundo. Isso porque seu valor no mercado é bastante competitivo em relação às madeiras tradicionalmente usadas na construção civil - o metro quadrado do deck de bambu está em torno de 1.100 reais o m² no Brasil. Os principais países importadores de pisos de bambu são Estados Unidos, Japão, Dinamarca, Holanda, Nova Zelândia e Bélgica. No ranking de importação de pisos de bambu, o Brasil ocupa a 54ª posição mundial. Além de seu impacto ambiental positivo, o piso de bambu possui alta durabilidade e resistência, competindo com as madeiras mais robustas (Centro Brasileiro de Inovação e Sustentabilidade, 2023).

2.4.10. Piso vinílico reciclado

O piso vinílico convencional é composto por Policloreto de Vinila (PVC) em uma mistura com outros elementos, como cargas minerais, plastificantes, pigmentos e aditivos. Esse material pode ser 100% reciclado e é o único material plástico que não é 100% originário do petróleo. Por isso, muitos fabricantes tentam vender o piso vinílico convencional como sustentável. No entanto, o fato de o PVC poder ser reciclado não quer dizer, necessariamente, que esse processo seja concluído, podendo acarretar no descarte de um resíduo que irá se decompor lentamente, causando prejuízos ambientais (Piatti; Rodrigues, 2005).

Os pisos vinílicos feitos a partir de PVC reciclado são uma boa alternativa para substituir os pisos laminados e os vinílicos comuns, visto que no Brasil são consumidos em média cerca de 5 kg anuais de PVC por habitante. Alguns fabricantes adotam processos de produção ainda mais sustentáveis, como a plastificação do piso vinílico com produtos à base de milho e trigo (Piatti; Rodrigues, 2005).

2.4.11. Porcelanato reciclado

O porcelanato possui instalação e manutenção simples, além de ser significativamente mais econômico que o piso de madeira. Embora seja resistente à umidade, é essencial que a aplicação da cola seja feita de forma adequada para garantir esse desempenho. Outra

característica relevante é sua elevada resistência mecânica, que proporciona durabilidade frente ao desgaste e à ruptura. O material suporta bem a ação de agentes atmosféricos, é bastante leve e oferece bom isolamento acústico e térmico, resistência a agentes químicos como bases, sais e ácidos (Barros, 2011).

O porcelanato convencional pode ser substituído por um porcelanato produzido com material reciclado. Ele é feito a partir de resíduos de outras indústrias, como restos de cerâmica, vidro, porcelana ou até mesmo plásticos reciclados, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários e diminuindo a necessidade de extração de matérias-primas virgens, como argila e minerais. Sua fabricação é semelhante a do porcelanato convencional, com a diferença da adição dos resíduos, que são limpos, triturados e incorporados aos outros ingredientes, como argila, para formar a massa cerâmica. Depois, essa mistura é prensada e submetida a altas temperaturas para formar o porcelanato. Esse material mantém os mesmos padrões de qualidade e estética que o porcelanato convencional, podendo ser encontrado em uma grande variedade de cores, texturas e acabamentos e com possibilidade de utilização em pisos e revestimentos de ambientes internos e externos (Caetano et. al., 2021).

2.4.12. Tinta fotocatalítica

No que tange à estética das construções, existem estudos que buscam adicionar propriedades sustentáveis às tintas que serão utilizadas para a pintura. Um exemplo disso é a tinta fotocatalítica, que filtra o ar utilizando a energia da luz para decompor poluentes atmosféricos nocivos e convertê-los em substâncias inofensivas. Qualquer superfície revestida com esta tinta torna-se uma superfície purificadora de ar ativa, que ajuda a proteger as pessoas de gases nocivos. A tinta faz o papel de árvores em lugares que não podem crescer (Olsen, 2020). O produto possui dióxido de titânio (TiO_2) em sua composição, que converte as toxinas em nitrato (NO_3), substância que não causa danos ao meio ambiente (COEP, 2020).

O projeto *Converse City Forests*, iniciado em 2019, consiste em murais pintados com tinta fotocatalítica em diversas cidades do mundo, sendo pintados mais de 14 mil metros quadrados ao redor do mundo, que são equivalentes ao plantio de aproximadamente 40 mil árvores (Olsen, 2020). As imagens abaixo (Figuras 5 e 6) mostram algumas das artes desenvolvidas ao longo do projeto.

Figura 5 - Mural “Pindorama”, pintado por Rimón Guimarães - São Paulo



Fonte: Foto de Converse City Forests, apud Olsen (2020). Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/949558/sao-paulo-ganha-mural-ecologico-que-filtra-o-ar>. Acesso em 25 ago. 2025.

Figura 6 - Mural pintado por André Kajaman - Rio de Janeiro



Fonte: CicloVivo (2021) Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/inovacao/inspiracao/usando-tinta-que-limpa-o-ar-postes-rj/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

2.4.13. Tinta térmica

Outro tipo de tinta que pode ser encontrado atualmente no mercado é a “tinta fria” ou “tinta térmica”, que possui maior refletância solar, contribuindo para um melhor desempenho térmico do ambiente. Essa maior refletância não se deve à cor da tinta, mas à sua composição, uma vez que o material é produzido com pigmentos inorgânicos que possuem refletância similar às tintas convencionais na região visível e refletância superior no infravermelho, onde se concentra a maior parte da energia térmica solar. Assim, uma reduzida temperatura da superfície pintada com a tinta térmica tem por consequência uma menor transmissão desse calor para a massa construtiva, interferindo na temperatura interior (Andrade e Dornelles, 2022).

Esse material se mostra mais eficaz quando utilizado em superfícies expostas à radiação solar, apresentando melhores resultados na pintura externa do que na pintura interna. Além disso, esta redução na temperatura interna é mais acentuada em edificações com baixos níveis de isolamento e maior área superficial de cobertura, em comparação com outras superfícies do edifício, assim como para condições climáticas quentes (Andrade e Dornelles, 2022).

2.4.14. Ecogranito

As pedras naturais são muito utilizadas nas edificações brasileiras como revestimento. No entanto, o uso desse material impacta negativamente no meio ambiente, uma vez que as pedras extraídas são recursos naturais não renováveis. Para diminuir essas extrações foi desenvolvido o “ecogranito”, um material sintético que imita o granito, composto por uma massa de resina acrílica, dolomitas e pigmentos (Frauches, 2021).

O ecogranito é um revestimento acrílico texturizado que reproduz, de forma realista, a aparência da pedra natural, disponível em algumas opções de cores (Figura 7). É indicado para aplicação decorativa em superfícies verticais, podendo ser utilizado tanto em áreas internas quanto externas, desde que não seja exposto a condições de imersão contínua (Rodrigues, 2016).

Figura 7 - Opções de coloração e padronagens de ecogranito



Fonte: Equipe Viva Decora, 2021. Disponível em: <https://arquitetura.vivadecora.com.br/ecogranito/>. Acesso em 25 set. 2025.

Uma das vantagens desse revestimento é sua capacidade de se adaptar à superfície, permitindo a aplicação em superfícies com diferentes formatos e possibilitando emendas, retoques e reparos quando necessário. Além disso, sua massa é composta por resíduos de mármore e granito que seriam descartados, eliminando a necessidade de extração e corte de rochas, o que lhe confere caráter ambientalmente responsável (Valério, 2016). Outra vantagem é a redução do aparecimento de fissuras em fachadas que contam com o ecogranito como revestimento, uma vez que garante uma maior impermeabilização da fachada e não apresenta emendas perceptíveis (Rodrigues, 2016). Por apresentar entre 30% e 32% de resina acrílica, apresenta durabilidade três vezes maior que as texturas comuns, que têm entre 6% e 8% (Valério, 2016).

A segurança também é um dos pontos positivos desse revestimento, já que elimina o risco de acidentes decorrentes do descolamento de pedras naturais em fachadas. Por ter peso significativamente reduzido, o ecogranito não compromete a estrutura nem provoca incidentes. Além disso, seu custo é até três vezes inferior ao das placas tradicionais (Valério, 2016).

Um ponto de atenção é a necessidade de mão de obra treinada para realizar a aplicação, o que irá garantir um resultado estético final no qual a aparência fica muito próxima à da rocha de granito. O produto é, em geral, fornecido em sacos de 30 kg, com rendimento médio de aproximadamente de 5kg/m² nas superfícies planas. A previsão de secagem total do produto é de 7 dias. A Figura 8 mostra a aplicação do ecogranito sendo realizada.

Figura 8 - Aplicação do ecogranito



Fonte: Equipe Viva Decora, 2021. Disponível em: <https://arquitetura.vivadecora.com.br/ecogranito/>. Acesso em 25 set. 2025.

2.4.15. Forro de madeira

A utilização de madeira na construção civil apresenta diversas vantagens, como ser um produto de origem natural, não tóxico e livre de vapores químicos, podendo, ao envelhecer, ser reaproveitada como carvão, elementos e substratos para jardins. É uma fonte renovável, amplamente disponível graças ao aumento do plantio de florestas legalizadas, permitindo extração sustentável. Possui elevada resistência mecânica, suportando esforços de tração e compressão, aliada à baixa massa específica. Contribui para o isolamento térmico e acústico, sendo aplicada em pisos, forros, janelas e portas. É de fácil manuseio, reutilizável e durável, especialmente quando tratada contra fungos e insetos. Além disso, desempenha papel importante na captação de carbono, ajudando no equilíbrio ambiental e pode receber diferentes tipos de acabamentos (Marques, 2008). Uma desvantagem desse material é a necessidade periódica de manutenção, tanto contra pragas quanto para proteção em relação à água e à incidência solar, mas pode ser bastante durável se cuidado corretamente (Archdaily Team, 2023). A Figura 9 traz a imagem de uma edificação com forro de madeira na área externa.

Figura 9 - Forro de madeira em área externa



Fonte: Foto de Fernando Guerra, apud Pereira (2020). Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/937780/casas-brasileiras-6-residencias-com-forro-ripado-de-madeira>. Acesso em 25 set. 2025.

2.4.16. Forro de bambu

O bambu é definido por Huang e Sun (2021) como um capim gigante que apresenta o crescimento mais rápido entre todas as plantas existentes. A partir de tecnologias modernas e melhoramentos no processamento dos materiais, a indústria conseguiu melhorar o desempenho do bambu e disponibilizar opções industrializadas dessa planta. Dentre elas estão painéis, placas de esteira, aglomerados e folhas laminadas, ilustradas no Quadro 4 (Huang e Sun, 2021).

Quadro 4 - Cinco tipologias diferentes de painéis de bambu

MATERIAL	ESTEIRA DE BAMBU TRANÇADA	AGLOMERADO DE BAMBU	PLACA COMPENSADA COM FIBRA DE BAMBU	FOLHA DE BAMBU LAMINADO	FIBRAS DE BAMBU
DIAGRAMA DA ESTRUTURA					

Fonte: Adaptado de Huang e Sun (2021)

O bambu é um material capaz de substituir a madeira em muitos elementos construtivos e possui uma produção anual bem maior (Bambi et al., 2019). No entanto, em comparação com a madeira, possui uma durabilidade natural menor, sendo mais vulnerável à deterioração, devido à ausência de elementos químicos protetores.

Esteticamente, o material proporciona um aspecto natural e aconchegante, sendo bastante utilizado em área externa e projetos que valorizam a integração com a natureza (Figura 10). O ideal é que o bambu não seja pintado, para não comprometer a respiração natural do material. Além disso, para que a cor original seja mantida sem desbotamento é importante que haja tratamento ultravioleta no material (Rocito, 2025).

Figura 10 - Forro de bambu em ambiente interno



Fonte: Rocito, 2025. Disponível em: <https://cobrire.com.br/artigos/4-usos-basicos-para-o-forro-de-bambu/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

2.4.17. Esquadria de madeira

Até a década de 50, predominavam as esquadrias de madeira ou perfis de ferro laminado. O alumínio surgiu no final da década de 50 (Iizuka, 2001), se tornando o material mais utilizado para confecção de esquadrias devido às suas qualidades estruturais. Contudo, a madeira ainda é utilizada, pois é facilmente trabalhável, apresentando bom desempenho de caixilhos e bom isolamento acústico (Duarte, 2011). Uma desvantagem da madeira em relação às esquadrias de alumínio é seu maior peso, o que aumenta a sobrecarga na estrutura da edificação.

As esquadrias de alumínio e de madeira apresentam diferenças significativas quanto à sustentabilidade. O alumínio se destaca pela alta durabilidade, baixa necessidade de

manutenção e pela possibilidade de reciclagem infinita sem perda de qualidade. No entanto, sua produção demanda elevado consumo energético e gera impactos ambientais expressivos na extração da bauxita e no processo de fundição, o que resulta em uma pegada de carbono inicial considerável.

Já a madeira, quando proveniente de florestas certificadas e manejadas de forma sustentável, é um recurso renovável com menor impacto energético de fabricação, além de atuar como reservatório de carbono; contudo, requer manutenção frequente para garantir sua durabilidade e, quando obtida de forma irregular, pode causar sérios danos ambientais e sociais (Duarte, 2011).

2.4.18. Esquadrias de bambu

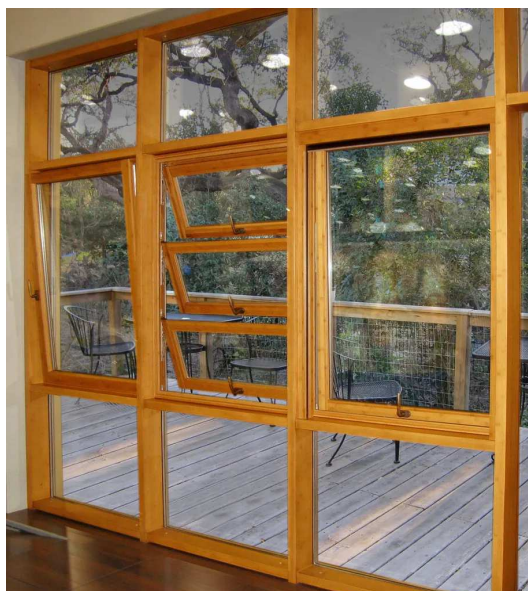
A existência de pouca bibliografia orientando acerca da exploração adequada do bambu, aliada à falta de familiaridade com o material que, até então, foi muito rejeitado por diversos fatores, entre eles a sua ligação com as habitações de baixa renda, faz com que o bambu seja pouco utilizado em projetos (Azambuja; Affonso, 2015). Para a produção de esquadrias, o material é ainda menos utilizado, apesar de apresentar propriedades que suportam esse uso. Azambuja e Affonso, realizaram uma pesquisa que consistiu no desenvolvimento do projeto de uma esquadria de bambu laminado colado, execução do projeto e, por fim, testes para avaliar sua resistência (Figura 11). Os resultados mostraram que as deformações obtidas nos ensaios de resistência ao esforço horizontal e resistência à flexão não foram significativas, não comprometendo a esquadria. O teste foi realizado com uma força de 60 kg, intensidade essa que dificilmente ocorreria na prática de forma manual. A abertura e o fechamento da esquadria ocorreram perfeitamente após os testes, efeito justificado pelas propriedades elásticas do bambu. Já a Figura 12 mostra uma esquadria de bambu sendo utilizada em uma construção real.

Figura 11 - Esquadria de bambu desenvolvida para os testes citados



Fonte: Azambuja; Affonso (2015)

Figura 12 - Esquadria de bambu sendo usada na prática



Fonte: Grentopia [s.d.]. Disponível em: <https://greentopia.com.br/bambu-usos-do-material/>. Acesso em 25 set. 2025.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

3.1. Seleção de materiais

Os materiais construtivos considerados na presente pesquisa como “convencionais” são aqueles amplamente utilizados na construção civil, consolidados pela lógica produtiva dominante no contexto analisado. Os materiais convencionais empregados no edifício modelo foram escolhidos segundo os seguintes critérios: facilidade de execução, ampla disponibilidade comercial na região de implantação da edificação, atendimento às normas técnicas e compatibilidade com sistemas convencionais. Além desses requisitos, os materiais

aqui nomeados como “sustentáveis” também precisam apresentar potencial de melhoria do desempenho ambiental, analisado com base na fundamentação teórica.

Após a análise de alguns materiais com potencial de contribuição para a sustentabilidade na construção civil, foram selecionados os materiais sustentáveis e os materiais convencionais a serem considerados em uma análise comparativa de custos. Considerando a ampla diversidade de materiais classificados como sustentáveis disponíveis no mercado, tornou-se inviável a avaliação de todas as opções existentes. Diante desse cenário, a pesquisa adotou um recorte fundamentado em critérios técnicos, ambientais e de aplicabilidade.

Assim, foram priorizados os materiais sustentáveis que apresentam maior representatividade no contexto atual da construção civil, evidenciada por seu uso recorrente em obras, disponibilidade comercial consolidada, viabilidade de aquisição em âmbito local e regional e compatibilidade com sistemas construtivos convencionais. Adicionalmente, considerou-se o potencial de contribuição para a melhoria do desempenho ambiental das edificações e a ideia de um edifício que se assemelha esteticamente ao modelo de edifício convencional. Os parâmetros estabelecidos foram investigados por meio de pesquisas bibliográficas que contemplaram a análise de evidências empíricas, normas técnicas e estudos comparativos.

Com base no estudo dos materiais, desenvolvido na fundamentação teórica, foi possível selecionar um conjunto de materiais com potencial para análise comparativa de custos e aplicação na edificação modelo. Esses materiais, destacados em cinza no Quadro 5 a seguir, foram selecionados para avaliação com base em critérios de sustentabilidade previamente estabelecidos, juntamente aos demais materiais sustentáveis analisados, visando confirmar a escolha dos materiais adotados. A classificação dos materiais pode ocorrer nos níveis “alto”, “médio” ou “baixo”.

Quadro 5 - Classificação dos materiais sustentáveis com base em critérios de sustentabilidade

ETAPA CONSTRUTIVA	MATERIAL	USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS	RECICLABILIDADE / REUTILIZAÇÃO	DURABILIDADE
ALVENARIA DE VEDAÇÃO	Tijolo de solo-cimento	médio	médio	alto
	Estrutura de bambu	alto	alto	médio
	Estrutura de madeira	alto	alto	alto
	Produção mais sustentável de concreto	baixo	médio	alto
COBERTURA	Telha tubo	médio	médio	médio
	Telha de fibra vegetal	alto	médio	médio
	Telha taubilha	alto	alto	médio
	Cobertura verde	alto	médio	médio
PISO	Piso de bambu	alto	médio	médio
	Piso vinílico reciclado	médio	alto	alto
	Porcelanato reciclado	médio	médio	alto
ACABAMENTO	Tinta fotocatalítica	baixo	baixo	alto
	Tinta térmica	baixo	baixo	médio
	Ecogranito	médio	médio	alto
FORRO	Forro de madeira	alto	alto	alto
	Forro de bambu	alto	médio	médio
ESQUADRIA	Esquadria de madeira	alto	alto	alto
	Esquadria de bambu	alto	médio	médio

Fonte: elaborado pela autora (2026)

O tijolo de solo-cimento foi classificado com uso de recursos renováveis médio porque, embora utilize solo - um recurso abundante -, também depende do cimento, cuja produção possui elevado impacto ambiental e baixa renovabilidade. Sua reciclabilidade e reutilização foram consideradas médias, uma vez que o material pode ser reaproveitado como agregado em novas construções, ainda que esse processo seja limitado. Em relação à durabilidade, a classificação foi alta devido à sua boa resistência mecânica e longa vida útil quando corretamente executado.

A estrutura de bambu recebeu classificação alta quanto ao uso de recursos renováveis, pois o bambu apresenta crescimento rápido e elevada capacidade de regeneração natural. Sua reciclabilidade e reutilização também foram consideradas altas, já que o material pode ser reaproveitado em novas aplicações construtivas e possui baixo impacto no descarte. A durabilidade foi classificada como média porque, apesar da boa resistência estrutural, o bambu necessita de tratamentos adequados contra umidade, fungos e insetos para alcançar maior longevidade.

A estrutura de madeira foi classificada com alto uso de recursos renováveis, considerando-se a utilização de madeira proveniente de manejo florestal sustentável. Sua reciclabilidade e reutilização também receberam classificação alta, devido à facilidade de reaproveitamento do material em outras construções ou elementos arquitetônicos. A durabilidade foi considerada

alta, uma vez que a madeira pode apresentar longa vida útil quando protegida adequadamente contra agentes externos.

O concreto com produção mais sustentável foi classificado com baixo uso de recursos renováveis porque continua dependente do cimento, material responsável por elevada emissão de gases de efeito estufa. Sua reciclabilidade e reutilização foram consideradas médias, visto que o concreto pode ser triturado e reutilizado como agregado reciclado. Quanto à durabilidade, a classificação foi alta devido à resistência e à longevidade características desse material.

A telha tubo recebeu classificação média no uso de recursos renováveis, pois essa característica depende diretamente do material empregado em sua fabricação. Sua reciclabilidade e reutilização também foram classificadas como médias, considerando a possibilidade de reaproveitamento limitado. Em relação à durabilidade, foi atribuída classificação média, uma vez que seu desempenho varia conforme o material e as condições de manutenção.

A telha de fibra vegetal foi classificada com alto uso de recursos renováveis por ser produzida a partir de fibras naturais renováveis. Sua reciclabilidade e reutilização receberam classificação média, já que alguns componentes podem ser reciclados ou reaproveitados parcialmente. A durabilidade foi considerada média devido à maior suscetibilidade às condições climáticas quando comparada a materiais mais convencionais.

A telha taubilha apresentou classificação alta quanto ao uso de recursos renováveis por ser fabricada em madeira, desde que proveniente de fontes sustentáveis. Sua reciclabilidade e reutilização também foram consideradas altas devido à facilidade de reaproveitamento do material. Já a durabilidade foi classificada como média, considerando a necessidade de manutenção periódica e proteção contra umidade e organismos xilófagos.

A cobertura verde recebeu classificação alta no uso de recursos renováveis por incorporar vegetação e contribuir ambientalmente para o conforto térmico e a redução de impactos urbanos. Sua reciclabilidade e reutilização foram classificadas como médias, visto que alguns componentes podem ser reaproveitados ao final da vida útil. A durabilidade foi considerada média devido à necessidade constante de manutenção e cuidados com impermeabilização.

O piso de bambu foi classificado com alto uso de recursos renováveis em razão da rápida regeneração do bambu. Sua reciclabilidade e reutilização receberam classificação média, já que o reaproveitamento pode ocorrer de forma parcial. Quanto à durabilidade, foi atribuída classificação média devido à boa resistência do material, embora inferior à de revestimentos cerâmicos ou pétreos.

O piso vinílico reciclado recebeu classificação média no uso de recursos renováveis porque, apesar de derivar de materiais sintéticos, pode incorporar conteúdo reciclado em sua composição. Sua reciclabilidade e reutilização foram consideradas altas devido ao potencial de reaproveitamento e reciclagem. A durabilidade foi classificada como alta em razão da resistência ao desgaste e da longa vida útil do material.

O porcelanato reciclado apresentou classificação média quanto ao uso de recursos renováveis, uma vez que pode incorporar resíduos reciclados em sua fabricação. Sua reciclabilidade e reutilização também foram consideradas médias devido às limitações de reaproveitamento após o uso. A durabilidade foi classificada como alta em função de sua elevada resistência e baixa necessidade de manutenção.

A tinta fotocatalítica recebeu classificação baixa no uso de recursos renováveis porque sua composição depende predominantemente de componentes industriais. Sua reciclabilidade e reutilização também foram classificadas como baixas, já que, após aplicada, não há possibilidade significativa de reaproveitamento. Em contrapartida, sua durabilidade foi considerada alta devido à resistência e às propriedades autolimpantes do material.

A tinta térmica foi classificada com baixo uso de recursos renováveis por utilizar predominantemente compostos sintéticos em sua formulação. Sua reciclabilidade e reutilização foram consideradas baixas devido à inexistência de reaproveitamento significativo após a aplicação. A durabilidade foi classificada como média, pois seu desempenho pode variar conforme as condições de exposição climática.

O ecogranito recebeu classificação média no uso de recursos renováveis por poder incorporar resíduos minerais e industriais em sua composição. Sua reciclabilidade e reutilização também foram classificadas como médias devido ao potencial parcial de reaproveitamento. Quanto à durabilidade, a classificação foi alta em razão da elevada resistência mecânica do material.

O forro de madeira apresentou classificação alta quanto ao uso de recursos renováveis, considerando a utilização de madeira de origem sustentável. Sua reciclabilidade e reutilização também foram consideradas altas pela facilidade de reaproveitamento do material. A durabilidade foi classificada como alta devido à longa vida útil proporcionada pela manutenção adequada.

O forro de bambu foi classificado com alto uso de recursos renováveis em função da rápida renovação natural do bambu. Sua reciclabilidade e reutilização receberam classificação média devido ao reaproveitamento parcial possível. Em relação à durabilidade, foi atribuída classificação média pela sensibilidade do material à umidade quando não tratado adequadamente.

A esquadria de madeira recebeu classificação alta no uso de recursos renováveis devido à possibilidade de utilização de madeira proveniente de manejo sustentável. Sua reciclabilidade e reutilização também foram consideradas altas, já que pode ser restaurada e reaproveitada. A durabilidade foi classificada como alta em razão de sua resistência e longa vida útil quando corretamente conservada.

Por fim, a esquadria de bambu apresentou classificação alta quanto ao uso de recursos renováveis devido à elevada capacidade de regeneração do bambu. Sua reciclabilidade e reutilização foram consideradas médias, pois o reaproveitamento é possível, mas mais limitado. A durabilidade foi classificada como média devido à necessidade de proteção adequada contra intempéries e pragas.

De modo geral, observa-se que materiais de origem natural tendem a apresentar melhor desempenho nos critérios relacionados à renovabilidade e potencial de reaproveitamento, enquanto materiais industrializados, especialmente aqueles baseados em derivados petroquímicos, apresentam limitações nesses aspectos. A durabilidade, por sua vez, mostra-se fortemente condicionada tanto às propriedades do material quanto às condições de uso e manutenção ao longo do tempo.

Após a análise dos critérios apresentados na tabela, foram definidos os materiais sustentáveis a serem considerados no comparativo financeiro. A Figura 14 a seguir apresenta tanto os materiais convencionais selecionados quanto os sustentáveis.

Figura 13 - Materiais convencionais e sustentáveis que serão estudados em relação aos custos financeiros



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Com o objetivo de fundamentar de forma mais consistente a escolha dos materiais analisados, foram realizadas buscas na base de dados *Scopus*, visando identificar sua relevância científica, bem como possíveis lacunas de pesquisa. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 - Resultados das buscas por cada material sustentável na base de dados Scopus

MATERIAL	PALAVRAS DE BUSCA	ÁREA TEMÁTICA	RESULTADOS
Tijolo de solo-cimento	"soil and cement brick"	Engenharia	487
Telha de fibra vegetal	"vegetable fiber tile"	Engenharia	14
	"sustainable tile"	Engenharia	757
Piso laminado de bambu	"bamboo flooring"	Engenharia	52
	"bamboo" e "sustainability"	Engenharia	467
Tinta térmica	"thermal paint"	Engenharia	2.664
Forro de madeira	"wood" e "sustainability"	Engenharia	1.911
Esquadria de madeira			

Fonte: elaborado pela autora (2026)

Observa-se que há uma variação significativa na quantidade de publicações associadas a cada material na base de dados Scopus, o que indica diferentes níveis de consolidação acadêmica. Alguns materiais apresentam maior número de estudos publicados, evidenciando que já são amplamente discutidos na literatura e possuem maior maturidade científica. Esses materiais tendem a contar com mais informações disponíveis quanto ao desempenho técnico, impactos

ambientais e viabilidade de aplicação, o que contribui para maior segurança em sua adoção no setor da construção civil.

Por outro lado, a tabela também evidencia a presença de materiais com menor quantidade de publicações, caracterizando áreas ainda pouco exploradas. Esses casos indicam lacunas de pesquisa relevantes, nas quais há menor aprofundamento científico, especialmente no que se refere a análises de desempenho, durabilidade e viabilidade econômica. Tal cenário reforça a importância de investigações que ampliem o conhecimento sobre esses materiais, contribuindo para sua validação e possível inserção no mercado.

Dessa forma, a escolha dos materiais para a presente pesquisa contempla tanto soluções já consolidadas quanto alternativas ainda incipientes, permitindo uma análise mais abrangente. Além disso, a identificação dessas lacunas evidencia o potencial de contribuição do estudo para o avanço do conhecimento na área de sustentabilidade aplicada à construção civil.

3.2. Edificação modelo

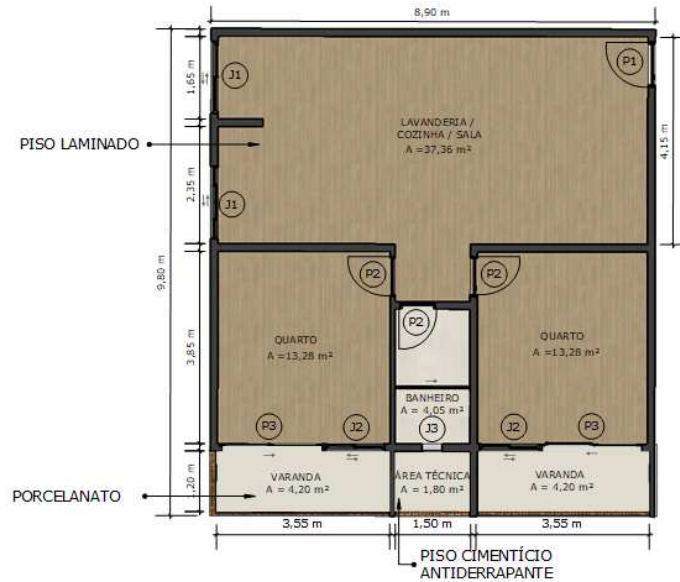
A partir da definição dos materiais, foi proposta uma edificação modelo em que foram aplicados ambos os tipos de materiais. Para esse estudo, foi utilizado como parâmetro uma edificação residencial vertical, com padrão médio de acabamentos que conta com quatro apartamentos por pavimento tipo. A edificação foi concebida com implantação na cidade de Viçosa, em Minas Gerais, fazendo com que a escolha dos materiais fosse realizada considerando o contexto local da edificação, que influencia em aspectos como a disponibilidade do material e necessidade de transporte a longas distâncias.

Para estudar o custo financeiro dos materiais construtivos que buscam ser menos prejudiciais ambientalmente em comparação com os materiais tradicionais foram desenvolvidas as três edificações modelo a seguir:

1. Edificação com materiais convencionais
2. Edificação com materiais sustentáveis - considerando o uso de porcelanato nas áreas comuns
3. Edificação com materiais sustentáveis - considerando o uso de piso laminado de bambu nas áreas comuns

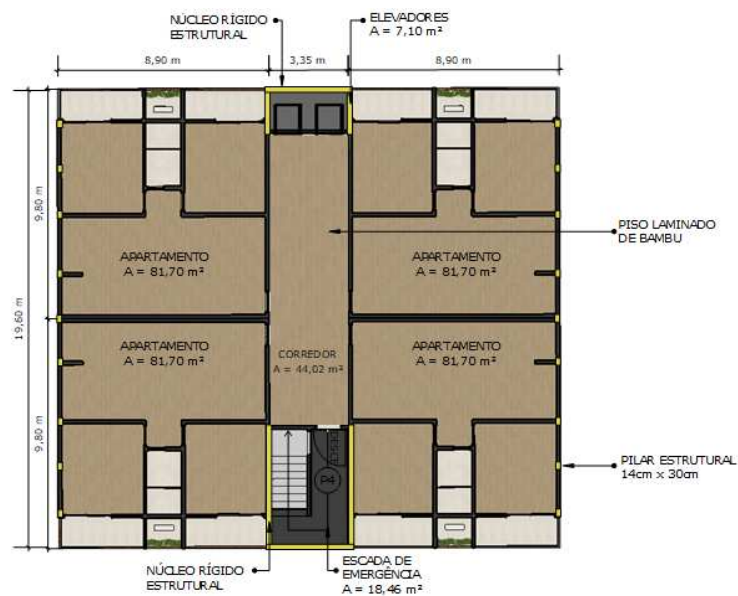
De modo geral, todas as edificações modelo contam com oito pavimentos: subsolo, térreo, cinco pavimentos tipo (com quatro apartamentos em cada) e um pavimento superior. A seguir, é possível visualizar os desenhos ilustrativos das edificações- modelo (Figuras 14 a 20).

Figura 14 - Planta do apartamento



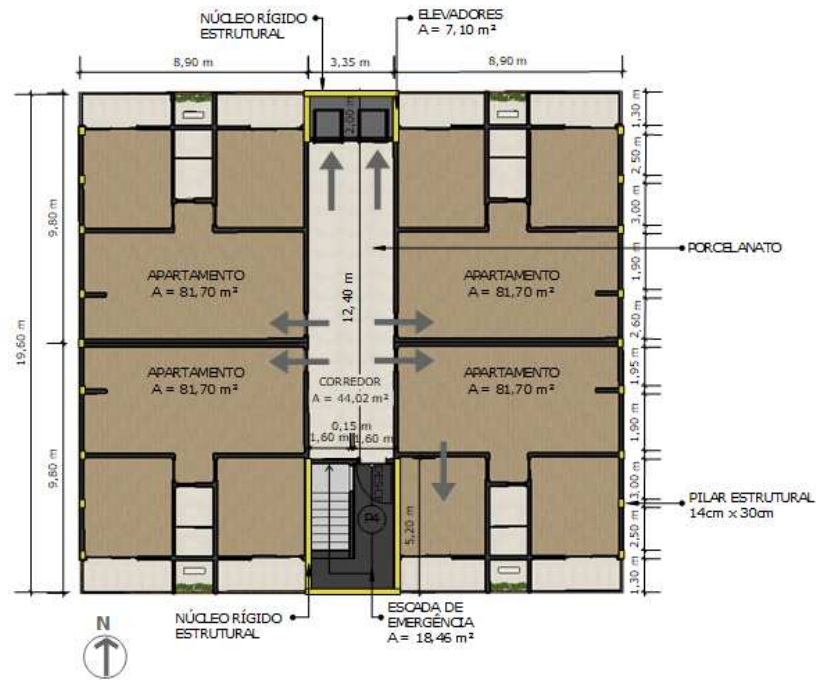
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 15 - Planta do pavimento tipo - circulação com piso laminado de bambu



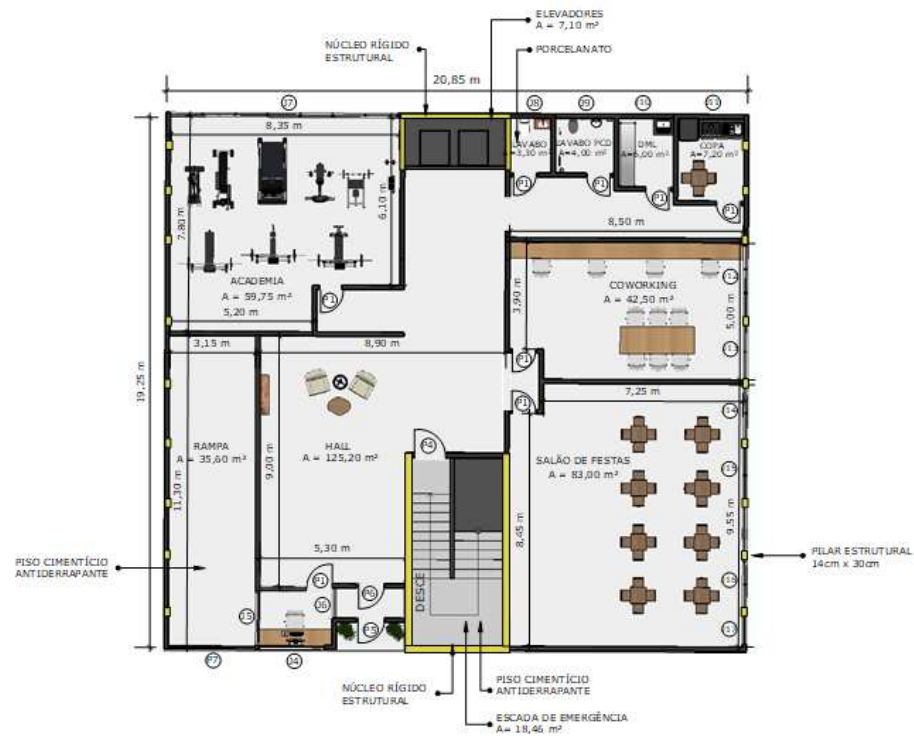
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 16 - Planta pavimento tipo - circulação com piso em porcelanato



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 17 - Planta pavimento térreo - piso em porcelanato



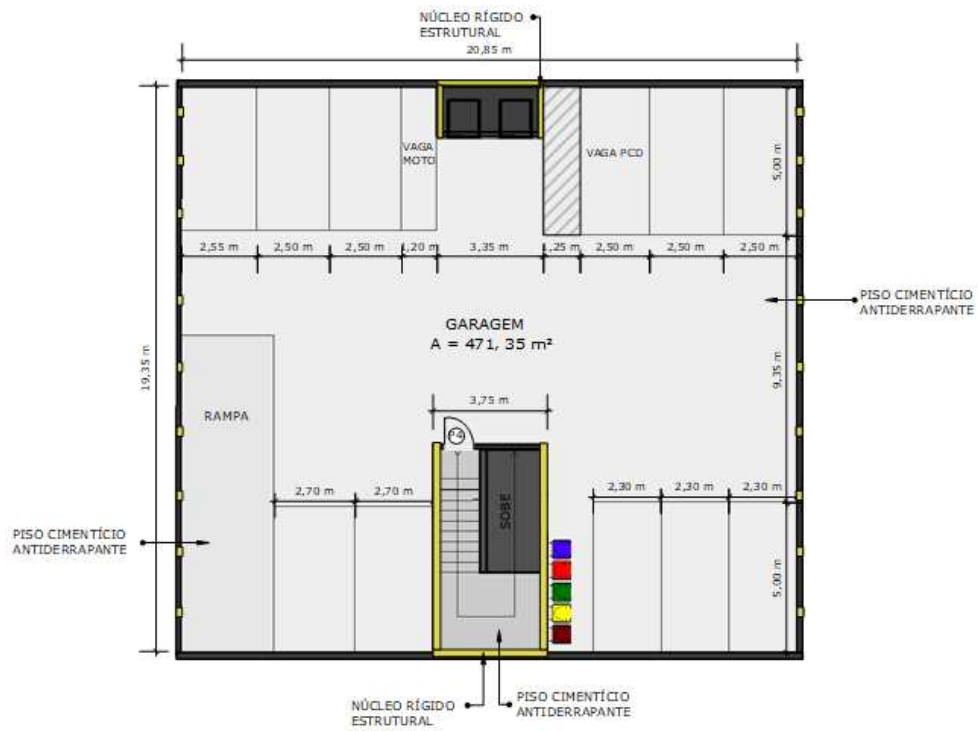
Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 18 - Planta pavimento térreo - piso laminado de bambu



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 19 - Planta do subsolo



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Figura 20 - Fachada frontal



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

3.3. Comparativo financeiro

Para investigar os custos dos materiais selecionados foram utilizadas inicialmente as planilhas da Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA) e do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). A planilha - ou tabela de custos - SEINFRA é um instrumento oficial de referência de preços usado para orçar obras e serviços de engenharia contratados pelo poder público, listando valores de materiais, mão de obra, equipamentos e serviços. Já a planilha SINAPI, é desenvolvida pela Caixa Econômica Federal e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) separando os valores por estado, refletindo os custos reais do mercado. Ela detalha os preços de materiais, mão de obra, equipamentos e índices variáveis da construção civil. Nessa pesquisa foram considerados os valores para Minas Gerais sem desoneração, ou seja, os encargos sociais serão calculados pelo regime tradicional, sem nenhum benefício fiscal ou redução de alíquotas. A categoria estudada foi Composições sem Desoneração (CSD).

Quando não foi possível encontrar o preço médio de algum dos materiais selecionados, foram consultados fornecedores locais que os comercializam, além de fornecedores que realizam a entrega em Viçosa. Os orçamentos dos materiais comercializados em lojas da cidade, bem como daqueles que não apresentavam preços divulgados, foram solicitados por meio dos números de contato ou endereços de e-mail disponibilizados online. Já os orçamentos dos materiais provenientes de outras localidades, mas com entrega na cidade, foram elaborados com base nos valores informados em seus respectivos sites.

Ao optar por cobertura de telha metálica com acabamento termoacústico, deve-se considerar a estrutura e a própria telha. Esses custos foram analisados com base na planilha SEINFRA, que determina o valor de R\$ 21,39 por quilo para “fornecimento de estrutura metálica e engradamento metálico, em aço, para telhado, exclusive telha, inclusive fabricação, transporte, montagem e aplicação de fundo preparador anticorrosivo em superfície metálica, uma (1) demão” (código ED0 20603). Para o cálculo do valor final deve-se considerar que cada m² de cobertura pesa aproximadamente 1,2 kg. A telha foi encontrada como “cobertura em telha metálica galvanizada trapezoidal, tipo dupla termoacústica com duas faces trapezoidais, esp. 0,43mm, preenchimento em poliestireno expandido ou isopor com esp. 30mm, acabamento natural, inclusive acessórios para fixação, fornecimento e instalação”, com o valor de R\$ 267,89 cada m².

Para o cálculo dos custos provenientes da utilização de telha feita com fibra vegetal, também foram considerados os custos da estrutura metálica que suporta a telha, não havendo diferença para o modelo convencional. Para a estimativa de custo das telhas foi considerado o valor estipulado na planilha SEINFRA, que descreve o material como “cobertura em telha ondulada tradicional de fibra vegetal com betume, esp. 3mm, com inclinação acima de 15 graus, inclusive fixação, exclusive engradamento” (código ED-48432), com o valor de R\$ 69,55 cada m².

As esquadrias de alumínio utilizadas no modelo convencional foram descritas na planilha SINAPI como “janela de alumínio de correr com 3 folhas (2 venezianas e 1 folhas para vidro, vidro incluso), sem acabamento, fixação, com parafuso, sem guarnição/alizar, dimensões 100x120 cm, vedação com silicone, excluindo contramarco - fornecimento e instalação” (código 94571) por R\$ 430,65 o m². Na planilha SEINFRA consta a “janela em alumínio maxim-ar com altura de 80 cm, linha 25 suprema, acabamento anodizado natural, inclusive

perfis, vidro liso 4 mm e instalação, exclusive ferragens para módulo de janela de alumínio maxim-ar” (código D-29482) por R\$ 925,05 o m².

As esquadrias de madeira utilizadas no modelo sustentável aparecem na planilha SINAPI como “janela de madeira pinus/eucalipto/tuari/viola ou equivalente, caixa do batente/marco 10cm, com duas folhas de abrir tipo veneziana e 2 folhas guilhotinas para parafusos e espuma expansiva, excluindo contramarco, fornecimento e instalação” (código 100669) por R\$750,56 o m². Como o vidro não está incluído, o custo do vidro foi consultado separadamente, descrito como “instalação de vidro liso incolor, E=6mm, em esquadria de alumínio ou pvc, fixado com baguete”, custando R\$306,30 o m² (código 102166). Para o acabamento das esquadrias é aplicado um selador e, posteriormente, a tinta esmalte. Os dois produtos não constam nas planilhas estudadas, sendo consultado o preço em lojas online que entregam gratuitamente na cidade.

Para o modelo de edificação convencional foi escolhido o forro de pvc, que consta como “forro em réguas de pvc, liso, para ambientes residenciais, inclusive estrutura unidirecional de fixação” por R\$70,40 o m² na planilha SINAPI (código 96112). Já para o modelo de edificação sustentável foi escolhido o forro de madeira, que consta na planilha SINAPI como “forro em madeira pinus, para ambientes residenciais, inclusive estrutura unidirecional de fixação” por R\$ 174,02 o m² (código 96485).

Para a vedação da edificação modelo mais sustentável, foi selecionado o tijolo de solo-cimento. Como apontado anteriormente, ele precisa ser adquirido de outras cidades para Viçosa, o que encarece seu custo final. Para reduzir esse custo, foi feita uma composição de custos visando uma produção própria, com aquisição do maquinário necessário. O resultado demonstrou que, ainda assim, o custo de produção in loco é superior ao de aquisição dos tijolos prontos. A viabilidade dessa alternativa dependeria de condições específicas, como reutilização do maquinário em múltiplos empreendimentos, o que não foi contemplado neste estudo. Ademais, para os tijolos cerâmicos foi adotado o custo de aquisição do material pronto, portanto estabelece-se o mesmo critério para os tijolos de solo-cimento, de modo a garantir a comparabilidade entre os valores analisados.

Os preços dos demais materiais não estavam tabelados nas planilhas estudadas, o que exigiu a consulta direta a fornecedores. Nesses casos, foram consultados pelo menos três fornecedores

para cada item. Cabe destacar que o período de cotação compreendeu os meses de setembro a dezembro de 2025.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS

4.1. Escolha dos materiais construtivos

Para a alvenaria de vedação, como alternativa convencional foi utilizado o tijolo cerâmico e como alternativa que busca a sustentabilidade foi utilizado o tijolo de solo-cimento. O tijolo solo-cimento é mais difícil de ser encontrado para aquisição, sendo necessário trazê-lo de outros locais para a cidade de Viçosa. Dessa forma, a necessidade de transporte a partir de outras localidades compromete não apenas o custo e o prazo da obra, mas também reduz os benefícios ambientais associados ao material, o que influencia negativamente sua viabilidade no contexto analisado. A Tabela 2 indica os fornecedores mais próximos encontrados e sua distância da cidade estudada.

Tabela 2 - Fornecedores de tijolo de solo-cimento mais próximos

Empresa	Cidade	Distância de Viçosa - MG
Empresa 1	Pedro Leopoldo - MG	267,3 km
Empresa 2	Cambuquira - MG	414,4 km
Empresa 3	Uberlândia - MG	747,4 km
Empresa 4	Montes Claros - MG	634, 9 km

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Para manter o mesmo efeito estético do tijolo de solo-cimento aparente, foram utilizadas placas cerâmicas finas como revestimento na fachada da edificação, assentadas com argamassa. Posteriormente, foi prevista a aplicação de hidrofugante em toda a fachada para sua proteção, assim como foi feito nos tijolos de solo-cimento.

As esquadrias das janelas, no modelo com materiais convencionais, são feitas de alumínio com acabamento em pintura eletrostática na cor preta. Já as esquadrias das janelas sustentáveis são de madeira e recebem, como acabamento, a aplicação de um selador, com a finalidade de fechar os poros e uniformizar, seguido de tinta esmalte a base d'água com acabamento brilhante, na cor preta.

Sobre as esquadrias das portas, é importante ressaltar que as portas internas do modelo convencional e do modelo sustentável são constituídas dos mesmos materiais. As portas corta-fogo são constituídas de aço carbono, com preenchimento de lã de rocha. As portas de entrada dos apartamentos são feitas de madeira maciça, com acabamento de selador e verniz fosco. Essas portas também foram utilizadas nos espaços internos do pavimento térreo. Já as portas internas dos apartamentos têm diferença apenas no acabamento - enquanto a porta do modelo convencional receberá laminado melamínico, a do modelo sustentável receberá selador ecológico seguido de verniz à base d'água.

As portas externas apresentam diferenças nos materiais que as compõem. O portão de entrada de veículos é em alumínio com acabamento em pintura eletrostática na versão convencional e em madeira Teca maciça na versão sustentável, com acabamento em selador, seguido de tinta esmalte acrílica brilhante na cor preta. A primeira porta de entrada de pessoas tem esquadria/moldura em alumínio no edifício com materiais tradicionais, enquanto tem esquadria/moldura em madeira maciça Teca no edifício com materiais mais ambientalmente favoráveis - ambas as portas também possuem vidro temperado. A segunda porta de entrada de pessoas é em vidro temperado para ambas as edificações. As portas de alumínio dos espaços com as caixas d'água foram substituídas por portas de madeira plástica. Esse material é formado por fibras vegetais - como bambu e serragem - e polímeros reciclados. Dessa forma, é mais sustentável, pois reaproveita resíduos de madeira e plástico pós-consumo. Em relação à sua durabilidade, é resistente à umidade, à ação de insetos e à radiação solar, não empena e nem apodrece. Possui textura semelhante à madeira, dispensando pintura ou outros tipos de acabamento. Os acabamentos, bem como as medidas e tipos de aberturas estão descritos no Quadro 8 do Apêndice.

Para os dormitórios e a sala/cozinha dos apartamentos, foi escolhido o piso laminado, sendo feito de madeira no modelo convencional e de bambu no modelo ecológico. O piso de bambu é difícil de ser adquirido devido à sua pouca oferta, uma vez que o fornecedor mais próximo encontrado se localiza em Goiânia - GO, a cerca de 1.100 km de distância de Viçosa. Isso faz com que sua utilização se torne mais cara, demorada e um pouco menos sustentável. Em contrapartida, o piso laminado de madeira é encontrado com facilidade em várias lojas de acabamentos da cidade.

O porcelanato convencional foi escolhido para revestir o piso do banheiro e da varanda dos apartamentos tanto no modelo sustentável quanto no modelo convencional. Isso ocorre porque

as opções de porcelanato produzido com material reciclado atualmente disponíveis no mercado não atendem aos requisitos de coeficiente de atrito e resistência à abrasão exigidos para esses ambientes, conforme indicado no Quadro 7 a seguir. Além disso, a pouca variedade de opções não abrange os diferentes acabamentos necessários para todos os ambientes.

Quadro 7 - Requisitos necessários para o piso de cada ambiente

AMBIENTE	COEFICIENTE DE ATRITO (CA)	RESISTÊNCIA À ABRASÃO (PEI)	ACABAMENTO
Banheiros	acima de 0,4	3 ou +	acetinado ou antiderrapante
Varanda	acima de 0,7	4 ou 5	antiderrapante com superfície rugosa
Áreas comuns	acima de 0,4	4 ou 5	acetinado ou polido

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Já para a área de circulação dos pavimentos e para o piso do pavimento térreo há diferenciação do piso escolhido. No modelo sustentável é utilizado o piso laminado feito de bambu, enquanto no modelo convencional é utilizado o porcelanato convencional.

Para o forro dos espaços internos foram escolhidos os seguintes materiais: forro de PVC para o modelo convencional e forro de madeira para o modelo ecológico. O forro de madeira precisa receber um acabamento com stain impregnante, produto que protege a madeira contra umidade, fungos, insetos e raios ultravioleta - prevenindo o desbotamento. O stain é mais sustentável que o verniz convencional, pois não penetra nas fibras e não forma película, o que permite a reaplicação quando necessário sem a necessidade de lixar para retirar o produto anteriormente aplicado. A madeira escolhida para ser utilizada no forro é a Pinus, madeira de reflorestamento comumente cultivada no Brasil, que precisa ser devidamente certificada para ser utilizada. O forro de madeira é fácil de ser encontrado para aquisição, assim como é fácil encontrar mão de obra qualificada para sua instalação.

Como acabamento das paredes, foi utilizada tinta convencional no projeto tradicional e tinta térmica no projeto ecológico, tanto na pintura externa quanto na pintura interna. A pintura foi escolhida na cor cinza na fachada externa e na cor branca nas faces internas das paredes.

Como cobertura da edificação foram pensados dois modelos diferentes: para o modelo convencional foi pensada a instalação de telha sanduíche e para o modelo sustentável foi pensada a telha de fibra vegetal.

4.2. Comparativo financeiro

É importante destacar que o valor final apresentado neste comparativo financeiro contempla exclusivamente o total dos materiais avaliados, não incluindo etapas adicionais da obra, tais como estrutura, instalações elétricas e hidráulicas, mão de obra, entre outras. Os valores encontrados estão apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 - Materiais construtivos convencionais

MATERIAIS CONSTRUTIVOS CONVENCIONAIS						
ELEMENTO	ITEM	CUSTO	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	OBSERVAÇÕES
TELHA METÁLICA TERMOACÚSTICA	ESTRUTURA PARA A TELHA	R\$ 21,39	cada kg	4920	R\$ 105.238,80	planilha SEINFRA (código ED-20803)
	TELHA	R\$ 267,89	cada m²	410	R\$ 109.834,90	planilha SEINFRA (código ED-48429)
ESQUADRIA DE JANELA DE ALUMÍNIO	JANELA DE CORRER	R\$ 430,65	cada m²	83	R\$ 35.743,95	planilha SINAPI (código 95571)
	JANELA MÁXIM-AR	R\$ 925,05	cada m²	49	R\$ 45.327,45	planilha SINAPI (código D-29482)
FORRO DE PVC	PVC	R\$ 57,82	cada m²	2.260	R\$ 130.673,20	planilha SINAPI (código 96112)
PISO LAMINADO DE MADEIRA	Piso Laminado Eucafloor Click Nogueira Natural	R\$ 54,99	cada m²	1278,4	R\$ 70.299,22	É possível comprar no ABC da Construção em Viçosa
PORCELANATO CONVENCIONAL	Porcelanato Incesa Paviment Gray Cinza Acetinado 60x60cm Retificado	R\$ 47,99	cada m²	831	R\$ 39.879,69	É possível comprar no ABC da Construção em Viçosa
TINTA CONVENCIONAL EXTERNA	Para fachada - cor cinza Frete grátis	R\$ 167,00	cada lata de 18L	13	R\$ 2.171,00	Marca: Eucatex Lata de 18L rende até 100 m² (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
TINTA CONVENCIONAL INTERNA	Para ambientes internos - cor branca Frete grátis	R\$ 338,10	cada lata de 18L	82	R\$ 27.724,20	Lata de 18L rende até 170 m² (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
TIJOLO CERÂMICO	Tamanho 9 x 19 x 19	R\$ 1.125,00	cada mil unidades	121	R\$ 136.125,00	Baratão da Construção - Viçosa - MG
REVESTIMENTO TIJOLINHO	Tijolinho	R\$ 88,81	cada m²	1.525,00	R\$ 135.435,25	
	Argamassa AC III	R\$ 58,50	cada saco com 20 kg	382	R\$ 22.347,00	Saco de 20kg rende 4m² Marca: Quartzolit
CUSTO FINAL TOTAL		R\$ 860.799,66				

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Tabela 4 - Materiais construtivos sustentáveis - utilizando piso laminado de bambu nas áreas comuns do edifício

MATERIAIS CONSTRUTIVOS SUSTENTÁVEIS - CONSIDERANDO O USO DE PISO LAMINADO DE BAMBU NAS ÁREAS COMUNS						
ELEMENTO	ITEM	CUSTO	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	OBSERVAÇÕES
TELHA DE FIBRA VEGETAL	ESTRUTURA PARA A TELHA	21,39	cada kg	4920	R\$ 105.238,80	planilha SEINFRA (código ED-20803)
	TELHA	69,55	cada m²	410	R\$ 28.515,50	planilha SEINFRA (código ED-48432)
ESQUADRIA DE JANELA DE MADEIRA	ESQUADRIA DA JANELA	R\$ 750,56	cada unidade	132	R\$ 99.073,92	planilha SINAPI (código 100869)
	VIDRO DA JANELA	R\$ 306,30	cada m²	132	R\$ 40.431,60	planilha SINAPI (código 102166)
	SELADOR À BASE D'ÁGUA	R\$ 133,57	cada lata de 3,6 L (rende até 32m²)	9	R\$ 1.202,13	Marca: Eucatex Frete grátis
	TINTA ESMALTE À BASE D'ÁGUA	R\$ 319,37	cada lata de 45 kg (rende até 220m²)	1	R\$ 319,37	Frete grátis
FORRO DE MADEIRA	MADEIRA PINUS	R\$ 128,33	cada m²	2.260	R\$ 290.025,80	planilha SINAPI (código 96485)
	STAIN IMPREGNANTE	R\$ 194,14	cada lata de 16L	62	R\$ 12.036,68	Marca: Eucatex Frete grátis Cada lata de 16L rende 110m² (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
PISO LAMINADO DE BAMBU	Piso de Bambu Natural	R\$ 61,32	cada m²	1817,15	R\$ 111.427,84	Loja Multipedras (comprar online) / loja localizada em Goiânia / encixe por click
PORCELANATO CONVENCIONAL	Porcelanato Incesa Paviment Gray Cinza Acetinado 60x60cm Retificado	R\$ 47,99	cada m²	292,25	R\$ 14.025,08	É possível comprar no ABC da Construção em Viosa
TINTA TÉRMICA EXTERNA	Para fachada - cor cinza Tinta emborrachada a base d'água Frete grátis	R\$ 216,55	cada balde de 18 kg	15	R\$ 3.248,25	Balde de 18kg rende até 90m² por demão (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
TINTA TÉRMICA INTERNA	Para ambientes internos - cor branca Frete grátis	R\$ 399,00	cada balde de 16 kg	70	R\$ 27.930,00	Balde de 16kg rende até 200m² por demão (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
TIJOLO SOLO - CIMENTO	Cola e frete inclusos	R\$ 1,35	cada unidade	112.730	R\$ 152.185,50	Tijolos Ecológicos Sollo
HIDROFUGANTE	Rende 108m² (considerar que serão aplicadas 3 demãos)	R\$ 230,00	cada lata de 18L	43	R\$ 9.890,00	Marca: quartzolit Frete grátis
CUSTO FINAL TOTAL		R\$ 895.550,27				

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

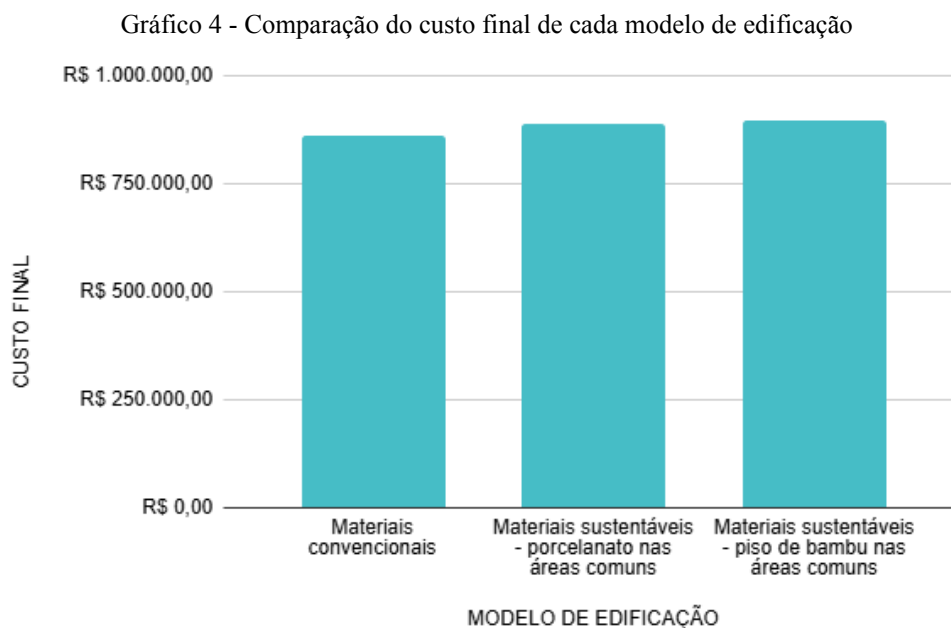
Tabela 5 - Materiais construtivos sustentáveis - utilizando piso de porcelanato nas áreas comuns do edifício

MATERIAIS CONSTRUTIVOS SUSTENTÁVEIS - CONSIDERANDO O USO DE PORCELANATO CONVENCIONAL NAS ÁREAS COMUNS						
ELEMENTO	ITEM	CUSTO	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	OBSERVAÇÕES
TELHA DE FIBRA VEGETAL	ESTRUTURA PARA A TELHA	21,39	cada kg	4920	R\$ 105.238,80	planilha SEINFRA (código ED-20603)
	TELHA	69,55	cada m²	410	R\$ 28.515,50	planilha SEINFRA (código ED-48432)
ESQUADRIA DE MADEIRA	ESQUADRIA DA JANELA	R\$ 750,56	cada unidade	132	R\$ 99.073,92	planilha SINAPI (código 100869)
	VIDRO DA JANELA	R\$ 306,30	cada m²	132	R\$ 40.431,60	planilha SINAPI (código 102168)
	SELADOR À BASE D'ÁGUA	R\$ 133,57	cada lata de 3,6 L (rende até 32m²)	9	R\$ 1.202,13	Marca: Eucatex Frete grátis
	TINTA ESMALTE À BASE D'ÁGUA	R\$ 319,37	cada lata de 45 kg (rende até 220m²)	1	R\$ 319,37	Frete grátis
FORRO DE MADEIRA	MADEIRA PINUS	R\$ 128,33	cada m²	2.260	R\$ 290.025,80	planilha SINAPI (código 98485)
	STAIN IMPREGNANTE	R\$ 194,14	cada lata de 16L	62	R\$ 12.036,68	Marca: Eucatex Frete grátis Cada lata de 16L rende 110m² (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
PISO LAMINADO DE BAMBU	Piso de Bambu Natural	R\$ 61,32	cada m²	1278,4	R\$ 78.391,49	Loja Multipedras (comprar online) / loja localizada em Goiânia / encixe por click
PORCELANATO CONVENCIONAL	Porcelanato Incesa Paviment Gray Cinza Acetinado 60x60cm Retificado	R\$ 47,99	cada m²	831	R\$ 39.879,69	É possível comprar no ABC da Construção em Vixosa
TINTA TÉRMICA EXTERNA	Para fachada - cor cinza Tinta emborrachada a base d'água Frete grátis	R\$ 216,55	cada balde de 18 kg	15	R\$ 3.248,25	Balde de 18kg rende até 90m² por demão (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
TINTA TÉRMICA INTERNA	Para ambientes internos - cor branca Frete grátis	R\$ 399,00	cada balde de 16 kg	70	R\$ 27.930,00	Balde de 16kg rende até 200m² por demão (considerar que serão aplicadas 3 demãos)
TIJOLO SOLO - CIMENTO	Cola e frete inclusos	R\$ 1,35	cada unidade	112.730	R\$ 152.185,50	Tijolos Ecológicos Sollo
HIDROFUGANTE	Rende 108m² (considerar que serão aplicadas 3 demãos)	R\$ 230,00	cada lata de 18L	43	R\$ 9.890,00	Marca: Quartzolit Frete grátis
CUSTO FINAL TOTAL		R\$ 888.368,73				

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO

A análise das tabelas de comparação financeira indica que o modelo sustentável com piso de bambu nas áreas comuns apresenta custo 3,20% superior ao modelo convencional. Já o modelo sustentável com porcelanato nas áreas comuns apresenta custo 4,03% superior ao modelo convencional. Essa diferença de valores está representada no Gráfico 4 abaixo.

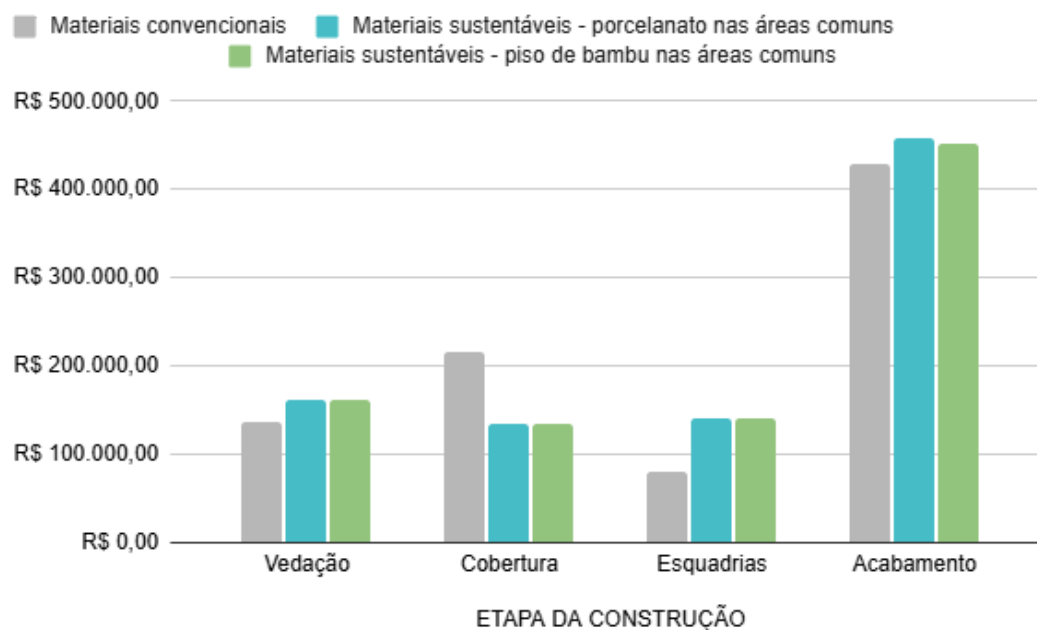


Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A diferença final de custo entre a edificação com materiais sustentáveis e a convencional mostra-se pouco expressiva, o que sugere a viabilidade da adoção de práticas mais sustentáveis pelo mercado. Embora o custo inicial das soluções sustentáveis seja mais elevado, empreendimentos que incorporam tais práticas e obtêm certificações ambientais tendem a apresentar valorização entre 4% e 8%, conforme aponta Costa et al. (2023), podendo compensar, total ou parcialmente, o investimento adicional requerido.

Também é importante a análise segmentada por etapas construtivas, pois evidencia comportamentos distintos entre os sistemas analisados, indicando que o impacto econômico da sustentabilidade não é homogêneo ao longo do processo construtivo. Esse fato pode ser observado no Gráfico 5 e na Tabela 6 abaixo.

Gráfico 5 - Comparação dos custos por etapa construtiva em cada modelo de edificação



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Tabela 6 - Valores exatos dos custos por etapa construtiva em cada modelo de edificação

Etapa da construção	Materiais convencionais	Materiais sustentáveis - porcelanato nas áreas comuns	Materiais sustentáveis - piso de bambu nas áreas comuns
Vedação	R\$ 136.125,00	R\$ 162.075,50	R\$ 162.075,50
Cobertura	R\$ 215.073,70	R\$ 133.754,30	R\$ 133.754,30
Esquadrias	R\$ 81.071,40	R\$ 141.027,02	R\$ 141.027,02
Acabamento	R\$ 428.529,56	R\$ 458.693,45	R\$ 451.511,91

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

A diferença aproximada de 3% a 4% no custo total entre a edificação convencional e os modelos com soluções mais sustentáveis sugere uma possível evolução quanto à disponibilidade e à competitividade econômica desses materiais. Também se evidencia que essa limitação se manifesta de forma mais acentuada em etapas específicas, como esquadrias e vedação.

A análise detalhada por etapa construtiva confirma essa heterogeneidade. Na fase de acabamentos, a edificação com materiais sustentáveis apresenta custo superior à convencional, variando conforme a solução adotada: o uso de piso de bambu nas áreas comuns implica acréscimo de 5,36%, enquanto o porcelanato eleva essa diferença para 7,03%. De forma mais expressiva, observa-se aumento de 16% na etapa de vedação e de

73,95% nas esquadrias. Em contrapartida, a etapa de cobertura apresenta comportamento inverso, com redução de 60,79% no custo das soluções sustentáveis em relação à alternativa convencional.

A tabela a seguir apresenta a relação entre o custo financeiro de cada etapa construtiva e o salário mínimo vigente em 2026, evidenciando o custo social da edificação e estabelecendo um parâmetro de referência que possibilita comparações em análises futuras sem perda de consistência.

Tabela 7 - Quantidade de salários mínimos necessários para cada etapa construtiva

Etapas da construção	Materiais convencionais	Materiais sustentáveis - porcelanato nas áreas comuns	Materiais sustentáveis - piso de bambu nas áreas comuns
Vedação	83,98	99,98	99,98
Cobertura	132,68	82,51	82,51
Esquadrias	50,01	87,00	87,00
Acabamento	264,36	282,97	278,54

Fonte: elaborada pela autora (2026)

Essa adoção do salário mínimo como parâmetro de referência para os custos das etapas construtivas permite ampliar a análise para além de valores absolutos, incorporando uma dimensão social à avaliação econômica. Ao relacionar o custo construtivo a um parâmetro financeiro conhecido pela população, torna-se possível compreender de forma mais clara o impacto financeiro da construção em diferentes contextos socioeconômicos, bem como avaliar a acessibilidade das soluções propostas ao longo do tempo.

A discrepância significativa observada em algumas etapas pode reforçar a fragilidade da cadeia produtiva de materiais sustentáveis no país, como a dificuldade de obtenção do piso laminado de bambu e do tijolo de solo-cimento. Nesse contexto, a viabilidade econômica da construção sustentável não depende apenas das características intrínsecas dos materiais, mas também de fatores estruturais mais amplos, como políticas públicas, incentivos fiscais e o fortalecimento de economias locais capazes de ampliar a oferta e reduzir custos.

É importante ressaltar que o acréscimo de custo identificado não deve ser interpretado como um valor absoluto ou generalizável, uma vez que está diretamente relacionado ao conjunto específico de materiais analisados neste estudo. Diferentes combinações de soluções podem resultar em variações significativas nos custos finais.

As variações de custo pouco expressivas - ou até reduções - indicam que a sustentabilidade não deve ser vista como uma escolha dicotômica entre soluções sustentáveis e convencionais. Trata-se, na verdade, de um processo incremental, em que decisões projetuais estratégicas permitem alcançar ganhos ambientais com impactos financeiros controlados. Além disso, evidencia-se a viabilidade de edificações parcialmente sustentáveis, por meio da incorporação seletiva de materiais de menor impacto nas etapas com menor influência no custo global. Essa abordagem reduz os impactos ambientais sem comprometer significativamente o custo total da obra e o valor de comercialização. Nesse sentido, destaca-se o papel estratégico da fase de projeto, consolidando a sustentabilidade como um processo decisório orientado pelas especificidades de cada empreendimento.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como objetivo analisar a sustentabilidade na construção civil a partir de uma comparação financeira entre a aplicação de materiais sustentáveis e convencionais em uma edificação modelo, considerando tanto os impactos ambientais associados à extração de recursos naturais quanto a influência do fator econômico na tomada de decisão projetual e construtiva. Para tanto, foi realizada uma fundamentação teórica sobre certificações ambientais e materiais com proposta ecológica, seguida da elaboração de três composições construtivas - convencional, sustentável com piso de porcelanato em áreas comuns e sustentável com piso de bambu em áreas comuns - e da análise comparativa de custos com base em planilhas oficiais e dados de mercado.

A primeira questão da pesquisa - “Construções sustentáveis são realmente mais custosas financeiramente do que construções convencionais?” - deve ser analisada à luz dos resultados obtidos, os quais indicam que as construções sustentáveis não apresentam custos significativamente superiores às convencionais. Ainda que os modelos avaliados tenham registrado um acréscimo global entre 3% e 4%, tal diferença mostra-se relativamente reduzida, não se configurando como um obstáculo relevante à sua adoção. Nesse contexto, a percepção de que a construção sustentável é necessariamente mais onerosa deve ser relativizada, uma vez que os custos adicionais tendem a ser moderados e podem ser compensados por benefícios ao longo do ciclo de vida da edificação, como a diminuição de despesas operacionais e a valorização do imóvel.

Em resposta à segunda e à terceira questões da pesquisa - “Alguma etapa da construção apresenta custos financeiros próximos para materiais sustentáveis e convencionais?” e “Em quais etapas há discrepâncias significativas e em quais essa diferença é pouco relevante?” - verificou-se que a aproximação de custos entre soluções sustentáveis e convencionais ocorre de forma pontual, não sendo uniforme ao longo das etapas construtivas. A fase de acabamentos, por exemplo, apresenta diferença relativamente reduzida, com acréscimo de 6,6% para os materiais sustentáveis, indicando maior equilíbrio entre as alternativas. Em contrapartida, a etapa de vedação apresenta um aumento mais expressivo, de 16%, enquanto as esquadrias concentram a maior disparidade, com custos 73,95% superiores. Por outro lado, a etapa de cobertura apresenta comportamento inverso, com as soluções sustentáveis sendo aproximadamente 60% mais econômicas que as convencionais. Assim, observa-se que a proximidade ou discrepância de custos está diretamente condicionada à etapa analisada, sendo mais evidente em acabamentos e praticamente inexistente em elementos como esquadrias.

Diante desse cenário, conclui-se que construções sustentáveis não são necessariamente inviáveis do ponto de vista econômico, especialmente quando se adota uma estratégia de implementação seletiva de materiais e sistemas com melhor relação custo-benefício. A adoção parcial de soluções sustentáveis mostrou-se, com base nos materiais escolhidos, uma alternativa comercialmente viável, capaz de elevar o desempenho ambiental da edificação sem comprometer de forma significativa o custo total de construção e, consequentemente, o preço final do imóvel.

Ressalta-se que a sustentabilidade na construção civil não deve ser avaliada apenas pelo custo inicial, mas considerando o ciclo de vida da edificação, os custos operacionais, a durabilidade e os benefícios ambientais e sociais. Embora esta pesquisa tenha se limitado aos custos de implantação, seus resultados contribuem para o debate ao apoiar decisões mais conscientes. Assim, como desdobramento, sugere-se ampliar a análise dos impactos dos materiais, incluindo custos de manutenção, custos operacionais, análise do ciclo de vida e do tempo de retorno econômico, além dos benefícios ambientais e sociais associados. Essa abordagem permite uma avaliação mais completa da sustentabilidade e da viabilidade econômica, superando a limitação de análises baseadas apenas no custo inicial.

Adicionalmente, recomenda-se investigar a percepção de profissionais da área quanto à utilização de materiais sustentáveis, com o intuito de identificar barreiras técnicas e culturais

que possam influenciar sua adoção. A compreensão desses fatores pode subsidiar estratégias para ampliar a aceitação e a aplicação dessas soluções no setor.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Victor Matã da Costa. **Revisão de literatura: aplicabilidade do bambu na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), IF Goiano – Câmpus Rio Verde, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/3820/3/tcc_Victor%20Almeida.pdf. Acesso em: 23 ago. 2025.

ANDRADE, Marcela; DORNELLES, Kelen. Refletância solar e o desempenho térmico de tintas frias nacionais para o envelope construtivo. In: **XIX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2022, Canela. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2090/1776>. Acesso em: 1 jul. 2024.

ARCHDAILY TEAM. **Forros para arquitetura residencial: benefícios e desvantagens de cada material**. ArchDaily Brasil, 4 jun. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1001185/forros-para-arquitetura-residencial-beneficios-e-desvantagens-de-cada-material>. Acesso em: 14 ago. 2025.

ARCHGLASS BRASIL. **Esquadria de madeira**, [s.d.]. Disponível em: <https://archglassbrasil.com.br/dicionario/esquadria-de-madeira/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **EC-4: Solo cimento na habitação popular**. 2 ed. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento — requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: https://www.alroma.com.br/uploads/arquivos_documentos/NBR_8491_-_Norma_Tijolo_de_Solo_Cimento_Requisitos_-_Alroma.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

AZAMBUJA, Maximiliano dos Anjos; AFFONSO, Stella Bruna Ananias. Arquitetura ecológica de esquadrias de bambu. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 03, n. 16, p. 16-33, 2015. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/pt_BR/article/view/998/1021. Acesso em: 20 ago. 2025.

BAMBI, G. et al. *Measure of thermal transmittance of two different infill wall built with bamboo cultivated in Tuscany*. **Agronomy Research**, v. 17, p.923-934, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.130>.

BARBOSA, Raquel. **As seis dimensões da sustentabilidade como abordagem para recomendações para a habitação unifamiliar baseadas nas diretrizes do Selo Casa Azul**. 2013. 157 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de

Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em:
<https://locus.ufv.br/items/5f7e84ef-0ca7-44b8-8723-6f958f71d5f8>. Acesso em: 17 abr. 2026.

BARBOSA JÚNIOR, Tarcísio Pereira. **Estudo comparativo quanto à resistência ao impacto de telhas onduladas de fibrocimento e telhas onduladas de fibra vegetal**. 2021. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2021. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/23722>. Acesso em: 16 abr. 2026.

BARROS, Carolina. **Apostila de Polímeros - Materiais de Construção e Edificações**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio-Grandense, Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em:
<https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/05/polimeros-apostila.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2025.

BERALDO, A.L.; FREIRE, W. J. **Tecnologia e materiais alternativos de construção**. Campinas: UNICAMP, 2003. 331 p.

BESIR, A. B.; CUCE, E. *Green roofs and facades: A comprehensive review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, pt. 1, p. 915– 939, Fev. 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.

BRASIL. Estado de Minas Gerais. Secretaria de Estado de Infraestrutura, Mobilidade e Parcerias – SEINFRA. **Planilha Referencial de Preços SEINFRA-MG 2025**. Minas Gerais, 2025. Disponível em:
<https://www.infraestrutura.mg.gov.br/municipio/consulta-a-planilha-de-precos-seinfra>. Acesso em: 6 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, 16 set. 1965. Disponível em:
<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 21 ago. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011**. Institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu – PNMCB. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 9 set. 2011. Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112484.htm. Acesso em: 22 ago. 2025.

CAETANO, A.L.A. et al. Obtenção de cerâmica de revestimento sustentável desenvolvida com resíduos industriais. **Revista Cerâmica Industrial**, 2021. v. 26, p. 1-11. Disponível em:
<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2021.004/pdf/ci-26-1-1.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2024.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Guia Selo Casa Azul + CAIXA**. Brasília, 2020. Disponível em:
https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf. Acesso em: 21 ago. 2025.

CASAGRANDE, Thamille; TAVARES, Sérgio Fernando; NOYA, Mariana Grassi. Impacto de telhados verdes intensivos no desempenho térmico e hidrológico. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 14, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8670262.

Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8670262/33200>. Acesso em: 21 ago. 2025.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Construção civil gerou mais de 190 mil postos de trabalho formais em 2022**. CBIC, 2023. Disponível em:

<https://cbic.org.br/construcao-civil-gerou-mais-de-190-mil-postos-de-trabalho-formais-em-2022/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Taxas de reciclagem**. [s.d.].

Disponível em:

<https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/#:~:text=85%25,fica%20em%20torno%20de%2085%25>. Acesso em: 21 ago. 2025.

CENTRO BRASILEIRO INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE – CEBIS. **Importação de pisos de bambu cresce 120% no Brasil em 2023**. Bamboost, 12 dez. 2023. Disponível em:

<https://www.cebis.org.br/post/importa%C3%A7%C3%A3o-de-pisos-de-bambu-cresce-120-no-brasil-em-2023>. Acesso em: 21 ago. 2025.

COEP Brasil. **São Paulo ganha mural feito com tinta que ajuda a limpar o ar como 750 árvores**. COEP Brasil, 29 set. 2020. Disponível em:

<https://coepbrasil.org.br/sao-paulo-ganha-mural-feito-com-tinta-que-ajuda-a-limpar-o-ar-com-o-750-arvores/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. Disponível em:

<https://smastr16.blob.core.windows.net/portaleducacaoambiental/sites/11/2024/05/Nosso-Futuro-Comum.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2025.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Diário Oficial da União, Brasília, 17 jul. 2002. Disponível em:

https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 30 jul. 2025.

COSTA, B. C. et al. **Harmonizando sustentabilidade global e lucratividade local**. Revista Caderno Pedagógico, Curitiba: Studies Publicações e Editora Ltda, v. 20, n. 4, p. 938-976, 2023. Disponível em:

<https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/1773/1635>. Acesso em: 30 jul. 2025.

CRADLE TO CRADLE PRODUCTS INNOVATION INSTITUTE. **Cradle to Cradle Certified: The Standard**. San Francisco e Amsterdam: Cradle to Cradle Products Innovation Institute, [s.d.]. Disponível em: <https://c2ccertified.org/the-standard>. Acesso em: 29 jan. 2026.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR NACHHALTIGES BAUEN – DGNB. **DGNB Certification for Buildings**. Stuttgart: DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges

Bauen, [s.d.]. Disponível em: <https://www.dgnb.de/en/certification/buildings>. Acesso em: 29 jan. 2026.

DOMINGOS, André Pinto Coelho Braz. **Viabilidade técnica e econômica de certificação verde em edifícios hospitalares: estudo de caso do Ambulatório Ciências Médicas – MG**. 2019. 52 f. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2019.

DÓRO, Vinicio Cunha; GUIMARÃES JÚNIOR, Luiz Carlos Souza; RUBIO NETO, Aurélio. Análise do potencial sustentável da madeira empregada no sistema Wood frame. **Revista Caribeña de Ciências Sociales**, v. 12, n. 3, 2023. Disponível em: <https://revistacaribena.com/ojs/index.php/rccs/article/view/2676/2156>. Acesso em: 21 ago. 2025.

DUARTE, P. Esquadrias e vidros na construção civil. **Revista Vidro Impresso**. São Paulo, n. 5, p. 74-75, 2011. Disponível em: <https://vidroimpresso.com.br/edicoes/>. Acesso em 21 ago. 2025.

ELKINGTON, J. *Triple bottom line revolution: reporting for the third millennium*. **Australian CPA**, v. 69, p. 75, 1994.

EQUIPE VIVA DECORA. **Ecogranito: veja como aplicar o revestimento sustentável em seu projeto**. Viva Decora, 21 jul. 2021. Disponível em: <https://arquitetura.vivadecora.com.br/ecogranito/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

FACHINI, Daniela et al. Utilização de aglomerante alternativo na construção civil: a aplicação da sustentabilidade. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 12, n. 2, p. 19 - 34, 2023. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/679>. Acesso em: 30 jul. 2025.

FALCÃO, S. M. P.; EL-DEIR, S. G.; HOLANDA, R. M. Políticas para construções sustentáveis mediante a questão da habitação no Brasil. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 1–22, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/19691>. Acesso em: 30 jul. 2025.

FRAUCHES, Thaís Quaresma. **Sistema de revestimento em ecogranito: análises e especificações do material em diversos locais de aplicação — estudo de caso: revestimento para fachada de edifício em Belo Horizonte**. 2021. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/44204/1/Monografia%20Thais%20Frauches_ECOGRANITO_2021_PDF.pdf. Acesso em: 21 ago. 2025.

GARAY-MOENA, R. M.; BENEDETTI-RUIZ, S. G. Calificación de viviendas prefabricadas en madera basada en atributos de cumplimiento normativo, complejidad y sustentabilidad en Chile central. **Revista Hábitat Sustentable**, Concepción, v. 14, n. 1, p. 92–101, 2024. Disponível em: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/6307/4912>. Acesso em: 31 jul. 2025.

GBC BRASIL. **Certificação LEED – empreendimentos**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao/certificacao-leed/empreendimentos/#home>. Acesso em: 15 out. 2025.

GREENTOPIA. **E o bambu? Diferentes usos do material**. Greentopia, [s.d.]. Disponível em: <https://greentopia.com.br/bambu-usos-do-material/>. Acesso em: 22 ago. 2025.

HABOWSKI, Dassaev. **Estudo da viabilidade da utilização de madeira de reflorestamento como material de construção para casas de pequeno porte**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, 2018. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14341/1/PB_COECI_2018_2_44.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

HARVEY, David. **Os sentidos do mundo: textos essenciais**. São Paulo: Boitempo, 2020. p. 55.

HUANG, Zujian; SUN, Yimin. Hygrothermal performance comparison study on bamboo and timber construction in Asia-Pacific bamboo areas. *Construction and Building Materials*, v. 271, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121602>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: Planilhas de Custos – Minas Gerais, 2025**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/sinapi/minas-gerais>. Acesso em: 6 jan. 2026.

IIZUKA, M. T. **Instalação de esquadrias de alumínio: prática e inovação**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2001. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/599905661/2001-HAB-Marson-TOSHIYO-IIZUKA>. Acesso em: 21 ago. 2025.

INTERNATIONAL LIVING FUTURE INSTITUTE. **Declare: transparency platform for building products**. Seattle: International Living Future Institute, [s.d.]. Disponível em: <https://declare.living-future.org/>. Acesso em: 29 jan. 2026.

JÚNIOR, Maurício. **Recomendações para projeto de piso de bambu laminado colado (BLC)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/18478/1/Mauricio_Final_2008.pdf. Acesso em: 17 abr. 2026

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), 1992. (CIFE Technical Report, n. 72). Tradução para o português disponível em: <https://pt.scribd.com/document/606110640/Koskela-TR72-Traducao>. Acesso em: 31 jul. 2025.

KOZLOSKI, Cássia et al. Emissões de CO₂ na Casa Popular Eficiente e o emprego de materiais alternativos. In: **III ENCUESTRO LATINOAMERICANO Y EUROPEO DE EDIFICACIONES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES**, 2019, Santa Fé – Paraná,

Argentina. ANTAC, p. 1350–1360. Disponível em:
https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/434/2020/08/EURO_ELECS_2019_paper_231.pdf.
 Acesso em: 21 ago. 2025.

LESSA, Mara Livia Santos. **Critérios de sustentabilidade para elementos construtivos: um estudo sobre telhas "ecológicas" empregadas na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2009. Disponível em: https://ppec.ufba.br/files/2009_Mara_Lessa.pdf. Acesso em: 21 ago. 2025.

LINHARES, Talissa. Práticas de Design de Interiores Sustentáveis Aliadas a Edificações Verdes. **2º Seminário de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação**, 2014. Disponível em: <https://even3.blob.core.windows.net/anais/76859.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

MARÇAL, Vitor Hugo Silva. **Análise comparativa de normas técnicas internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais**. 193p. Dissertação – Mestrado. UnB – Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2018. Disponível em:
<https://pt.scribd.com/document/445029680/Normas-Construc-a-o-Vitor-Marc-al-BAMBU>.
 Acesso em: 22 ago. 2025.

MARENGO, Jose A. et al. **Estado do clima, extremos de clima e desastres no Brasil em 2024**. Relatório técnico digital, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC2) / Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Março 2025. 38 p. Disponível em:
https://inctmc2.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2025/03/Relatorio_NT-Clima_Extremos_Desastres-2024-Brasil-digital.pdf. Acesso em: 12 jan. 2026.

MARQUES, Luís Eduardo Menezes Marinho. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em:
<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58999/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

MOTTA, J. C. S. S. et al. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Revista e-xacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014. Disponível em:
<https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/dcet/article/view/42587/37289>.
 Acesso em: 6 jan. 2026.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**, 16 set. 2020. Disponível em:
<https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 21 ago. 2025.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2015**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 31 jul. 2025.

NOGUEIRA, J.F. et al. Micropropagação de bambu em larga-escala: princípios, estratégias e desafios. In: **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, 1. ed., Rio de Janeiro: ICH, 2017. Disponível em:
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1084622/1/26392105131.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2025.

NUNES, G.M.; SOBRINHO JÚNIOR, A.S.; PASTOR, J.S. O uso do bambu como material estrutural na construção civil. **Revista Principia. Divulgação Científica e Tecnológica do FPB**, nº 55, João Pessoa, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/4366>. Acesso em: 25 ago. 2025.

OLIVEIRA, Cássio Gomes et al. Caracterização do consumo de madeira para execução de sistema estrutural em concreto armado. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 8, n. 4, p. 119–131, set. 2022. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5173/4724>. Acesso em: 21 ago. 2025.

OLIVEIRA, L.F.A. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil**. 2013. 90 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-9GBPWL>. Acesso em: 30 ago. 2025.

OLIVEIRA, Tamara de Lima et al. Telhado Verde na Captura de Co2: Estudo de Caso em Garanhuns – PE. **Revista de Gestão - RGSA**, São Paulo (SP), v. 10, 2023. DOI: 10.24857/rgsa.v17n10-019. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/4111>. Acesso em: 31 jul. 2025.

OLSEN, Natasha. **São Paulo ganha mural ecológico que filtra o ar**. ArchDaily, 16 out. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/949558/sao-paulo-ganha-muralecologico-que-filtra-o-ar>. Acesso em: 1 jul. 2024.

PEREIRA, Antônio Marcos et al. **Socio-Environmental Management and The Applicability of The Sustainability Tripod For Integration Between Economic, Social and Environmental Practices**. *Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA*, Miami, v. 18, n. 3, p. 1-10, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n3-175. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/7881>. Acesso em: 21 ago. 2025.

PEREIRA, Diana et al. **Análise da viabilidade de telhas sustentáveis a partir de resíduos de tubos de pasta de dente como alternativa ao amianto**. Repositório Universitário da Ânima (RUNA), dezembro de 2025. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/40bac596-72af-49e6-9c90-f83f32f3e313>. Acesso em: 6 de abr. 2026.

PEREIRA, M.A.R. Implantação do Projeto Bambu no assentamento rural Horto de Aimorés (SP). In: **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, 1. ed., Rio de Janeiro: ICH, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1078373/1/26392.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

PEREIRA, Matheus. **Casas brasileiras: 6 residências com forro ripado de madeira**. ArchDaily Brasil, 20 abr. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/937780/casas-brasileiras-6-residencias-com-forro-ripado-de-madeira>. Acesso em: 22 ago. 2025.

PETROBRÁS. **Ficha Técnica de Produto Químico – FISQP**. 2005. Disponível em: <https://documentos-publicos.petrobras.com.br/api/fichas/fispq-arm/download?folder=&item=10845495.pdf>. Acesso em: 2 set. 2025.

PIATTI, T.; RODRIGUES, R. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió: Edufal, p. 51, 2005. Disponível em: https://usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf/@@download/file/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf. Acesso em: 20 ago. 2025.

PROCEL. **Selo Procel Edificações – selo de eficiência energética para edificações**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>. Acesso em: 21 ago. 2025.

RESTREPO-RAMÍREZ, A. F et al. Optimizaciones en el diseño de mezclas de concreto para la sostenibilidad de un Área Metropolitana de Sudamérica implementando análisis de ciclo de vida de materiales. **Revista Hábitat Sustentable**, Chile, v. 14, n. 1, p. 44–65, jun. 2024. DOI: 10.22320/07190700.2024.14.01.04. Disponível em: <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/6423/4907>. Acesso em: 30 jul. 2025.

RODRIGUES, Elyzia. **Você conhece o Ecogranito?**. Dica da Arquiteta, 2016. Disponível em: <http://www.dicadaarquiteta.com.br/2016/08/voce-conhece-o-ecogranito.html>. Acesso em: 21 ago. 2025.

ROCITO, Gustavo. **Forro de Bambu: principais usos**. Cobrire. Campinas, 7 jun. 2025. Disponível em: <https://cobrire.com.br/artigos/4-usos-basicos-para-o-forro-de-bambu/>. Acesso em: 14 ago. 2025.

SANTANA, J. E. S.; CARVALHO, A. C. X.; FARIAS, R. A. P. G. **Tijolo ecológico versus tijolo comum: benefícios ambientais e economia de energia durante o processo de queima**. Anais do IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador/BA, nov. 2013. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/II-005.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2026.

SANTANA, Julie Catherine et al. **A utilização de tijolo reciclável como ferramenta de construção econômica e sustentável**. Epitaya E-Books, v. 1, n. 12, p. 28–38, dez. 2020. DOI: 10.47879/ed.ep.2020144p28. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/47>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SANTANA, Thiago da Silva; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa. **Vantagens e desvantagens da utilização de peles-verdes em edificações residenciais em Porto Alegre segundo seus moradores**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 305–318, jul./set. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/gX3VcX6bRtHJZRjbJbGRq5R/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 ago. 2025.

SANTOS, N.M.; MADALOSSO, V.M. **Comparativo de diferentes tipos de tratamentos de bambu para uso na construção civil**. Unievangélica, Anápolis, GO, 2020. Disponível em:

<http://repositorio.aee.edu.br/jspui/bitstream/aee/18891/1/Nathalia%20Moreira%20Santos%20e%20Vytor%20Matsuura%20Madalosso.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SARAMAGO, Rita de Cássia Pereira; LOPES, João Marcos de Almeida. **Neoextrativismo e construção ‘sustentável’: duas faces do capitalismo financeirizado**. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 26, n. 1, p. 1–17, jan. 2024. DOI: 10.22296/2317-1529.rbeur.202413pt. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/7433>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SCRENSKI, Adrian Jan. **Viabilidade do telhado verde como instrumento de redução de emissões de carbono**. Monografia de Especialização (Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/51254>. Acesso em: 21 ago. 2025.

SILVA, Wiliam de Assis et al. **Barreiras à sustentabilidade ambiental na cadeia logística da construção civil de Curitiba/PR**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo, v. 10, n. 1, 2021. DOI: 10.5585/geas.v10i1.16148. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/16148>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SINGH, S.R. et al. **Limitações, avanços e perspectivas de aplicação de ferramentas biotecnológicas no melhoramento do bambu – uma planta com qualidades extraordinárias**. Physiology and Molecular Biology of Plants, p. 21-41, 2013.

SOUZA, Vanessa Carolina de; MEIRELLES, Célia Regina Moretti; RIMI, Paula Mendes Thomaz. **A arquitetura e as técnicas construtivas em bambu: aplicação no Centro Cultural Max Feffer**. 5% Arquitetura + Arte, São Paulo, v. 1, n. 23, p. 1-17, 2022. Disponível em: <https://revista5.arquitetonica.com/index.php/periodico-1/ciencias-sociais-aplicadas/391-a-arquitetura-e-as-tecnicas-construtivas-em-bambu-aplicacao-no-centro-cultural-max-feffer>. Acesso em: 30 jul. 2025.

TORRES, Levi. **70% do entulho no Brasil é descartado incorretamente**. ABRECON, 3 jun. 2023. Disponível em: <https://abrecon.org.br/artigos/70-do-entulho-no-brasil-e-descartado-incorretamente>. Acesso em: 14 out. 2023.

TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos. **Formação dos educadores ambientais e paradigmas em transição**. Ciência & Educação, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 83–96, 2002. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5273978.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2025.

UGREEN. **AQUA-HQE: certificação para construir um mundo sustentável**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/aqua-hqe-a-certificacao-que-constroi-um-mundo-sustentavel/>. Acesso em: 21 ago. 2025.

UNEP – **United Nations Environment Programme**. Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies. Nairobi: UNEP,

2022. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>. Acesso em: 14 ago. 2025.

UNEP – *United Nations Environment Programme*; GlobalABC – *Global Alliance for Buildings and Construction*. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction: towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector**. UNEP; GlobalABC, dez. 2020. Disponível em: <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction>. Acesso em: 14 ago. 2025.

VALERIO, Iara. **Empresa mineira traz ao Brasil tecnologia de revestimento inteligente**. 2016. Disponível em: <https://atanews.com.br/noticia/7258/empresa-mineira-traz-ao-brasil-tecnologia-de-revestimento-inteligente>. Acesso em: 14 ago. 2025.

APÊNDICE - QUADRO DE ESQUADRIAS

Quadro 8 - Quadro de esquadrias

QUADRO DE ESQUADRIAS										
CÓDIGO	TIPO	LARGURA	ALTURA	PEITORIL	OBSERVAÇÕES	MATERIAL CONVENCIONAL	ACABAMENTO	MATERIAL SUSTENTÁVEL	ACABAMENTO	SISTEMA DE ABERTURA
J1	janela	1,45 m	1,00 m	1,10 m	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	2 folhas de correr / deslizante
J2	janela	1,20 m	1,00 m	1,10 m	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	2 folhas de correr / deslizante
J3	janela	0,80 m	0,85 m	1,60 m	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J4	janela	2,35 m	1,00 m	1,10 m	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática e insuflm no vidro	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	sem abertura - pano de vidro fechado
J5	janela	1,80 m	1,00 m	1,10 m	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática e insuflm no vidro	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	sem abertura - pano de vidro fechado
J6	janela	1,00 m	1,00 m	1,10 m	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática e insuflm no vidro	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica e vidro com laminação PVB sustentável	sem abertura - pano de vidro fechado
J7	janela	8,25 m	1,00 m	1,10 m	11 janelas maxim-ar de 0,75m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J8	janela	1,40 m	0,80 m	1,70 m	2 janelas maxim-ar de 0,70m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J9	janela	2,15 m	0,80 m	1,70 m	3 janelas maxim - ar de 0,71 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J10	janela	2,00 m	0,80 m	1,70 m	3 janelas maxim - ar de 0,66 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J11	janela	2,40 m	0,80 m	1,70 m	3 janelas maxim - ar de 0,80 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J12	janela	2,60 m	1,00 m	1,10 m	3 janelas maxim - ar de 0,86 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J13	janela	1,95 m	1,00 m	1,10 m	2 janelas maxim - ar de 0,97 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J14	janela	1,90 m	1,00 m	1,10 m	2 janelas maxim - ar de 0,95 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J15	janela	3,00 m	1,00 m	1,10 m	3 janelas maxim - ar de 1,00 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J16	janela	2,50 m	1,00 m	1,10 m	3 janelas maxim - ar de 0,83 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
J17	janela	1,05 m	1,00 m	1,10 m	1 janela maxim - ar de 1,05 m de largura	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + tinta esmalte acrílica	maxim - ar / basculante
P1	porta	0,90 m	2,10 m	-	-	madeira maciça	selador + verniz fosco	madeira maciça	selador + verniz fosco	porta de giro
P2	porta	0,80 m	2,10 m	-	-	chapas de mdf com miolo semi-oco	laminado melamínico	chapas de mdf com miolo semi-oco	selador ecológico + verniz a base d'água	porta de giro
P3	porta	2,00 m	2,10 m	-	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira Teca e vidro temperado	selador + verniz fosco	porta de giro
P4	porta	1,00 m	2,10 m	-	-	porta corta-fogo	-	porta corta-fogo	-	porta de giro
P5	porta	0,90 m	2,10 m	-	-	esquadria de alumínio e vidro temperado	pintura eletrostática	esquadria em madeira maciça Teca e vidro temperado	selador + verniz fosco	porta de giro
P6	porta	1,20 m	2,10 m	-	-	vidro temperado	-	vidro temperado	-	porta de giro
P7	porta	3,15 m	2,10 m	-	portão eletrônico	alumínio	pintura eletrostática	madeira Teca maciça	selador + tinta esmalte acrílica	portão basculante
P8	porta	0,80 m	2,10 m	-	portas dos espaços de caixa d'água	alumínio	pintura eletrostática	madeira plástica	-	porta de giro

Fonte: Elaborado pela autora (2025)