

Avaliação pós-ocupação do Espaço Lar Verde Lar certificada leed: análise da eficiência dos critérios de projeto e sistemas construtivos após anos de uso

Post-occupancy evaluation of the leed-certified Lar Verde Lar Space: analysis of the efficiency of design criteria and building systems after years of use

Evaluación posterior a la ocupación del Espacio «Lar Verde Lar», con certificación leed: análisis de la eficiencia de los criterios de proyecto y de los sistemas de construcción tras años de uso

Pablo da Silva Gusmão

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais Campus Governador Valadares

Endereço: Governador Valadares - Minas Gerais, Brasil

E-mail: pablo_gusmaogv1@hotmail.com

Yasmim Constantina Lisboa

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais Campus Governador Valadares

Endereço: Governador Valadares - Minas Gerais, Brasil

E-mail: yasmim.c.lisboa@outlook.com

Carolyne Amélia Assis Ávila

Mestra em Educação

Instituição: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Endereço: Diamantina - Minas Gerais, Brasil

E-mail: carolyne.avila@ifmg.edu.br

Jonathan Charles Lucas Martins Almeida Siqueira

Especialista em Segurança do Trabalho

Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais Campus Governador Valadares,

Endereço: Governador Valadares - Minas Gerais, Brasil

E-mail: jonathan.siqueira@ifmg.edu.br

RESUMO

O presente estudo avalia o desempenho real do Espaço Lar Verde Lar, edificação comercial de 189 m² localizada em Governador Valadares, Minas Gerais, e reconhecida como o primeiro edifício brasileiro a obter a certificação LEED v4, nível Gold. A pesquisa adota abordagem qualitativa e descritiva, configurando-se como estudo de caso com base em análise documental, complementada por visita técnica *in loco* e entrevista semiestruturada com o responsável pela operação do edifício. Os resultados revelam um padrão de desempenho heterogêneo ao longo dos nove anos de operação. Os sistemas energéticos demonstraram resiliência e durabilidade, com consumo significativamente abaixo do modelo de referência convencional e geração fotovoltaica que superou a demanda ao longo de todo o primeiro ano, motivando a obtenção da

certificação GBC Energy Zero. O sistema de captação pluvial também se manteve operacional, contribuindo para a redução do consumo hídrico interno. Em contrapartida, o telhado verde foi progressivamente desativado em razão das dificuldades de adaptação das espécies vegetais ao clima local, e o agravamento das temperaturas a partir de 2025 exigiu a instalação de ar-condicionado como complementação ao sistema passivo — adaptação viabilizada pela previsão já incorporada ao projeto original. O estudo demonstra que edificações sustentáveis certificadas são viáveis em cidades de pequeno e médio porte, desde que sustentadas por gestão comprometida e acompanhamento sistemático ao longo do ciclo de vida.

Palavras-chave: LEED v4, avaliação pós-ocupação, edificação sustentável, desempenho ambiental, Governador Valadares.

ABSTRACT

This study evaluates the actual performance of Espaço Lar Verde Lar, a 189 m² commercial building located in Governador Valadares, Minas Gerais, and recognized as the first Brazilian building to obtain LEED v4 Gold certification. The research adopts a qualitative and descriptive approach, taking the form of a case study based on document analysis, supplemented by an *on-site* technical visit and a semi-structured interview with the person responsible for the building's operation. The results reveal a mixed pattern of performance over the nine years of operation. The energy systems demonstrated resilience and durability, with consumption significantly below that of the conventional reference model and photovoltaic generation that exceeded demand throughout the entire first year, leading to the attainment of GBC Energy Zero certification. The rainwater harvesting system also remained operational, contributing to a reduction in internal water consumption. In contrast, the green roof was gradually decommissioned due to the plant species' difficulty adapting to the local climate, and rising temperatures beginning in 2025 required the installation of air conditioning to supplement the passive system—an adaptation made possible by provisions already incorporated into the original design. The study demonstrates that certified sustainable buildings are viable in small and medium-sized cities, provided they are supported by committed management and systematic monitoring throughout their life cycle.

Keywords: LEED v4, post-occupancy evaluation, sustainable building, environmental performance, Governador Valadares.

RESUMEN

El presente estudio evalúa el rendimiento real del Espaço Lar Verde Lar, un edificio comercial de 189 m² situado en Governador Valadares, Minas Gerais, y reconocido como el primer edificio brasileño en obtener la certificación LEED v4, nivel Oro. La investigación adopta un enfoque cualitativo y descriptivo, configurándose como un estudio de caso basado en el análisis documental, complementado con una visita técnica *in loco* y una entrevista semiestructurada con el responsable de la gestión del edificio. Los resultados revelan un patrón de rendimiento heterogéneo a lo largo de los nueve años de funcionamiento. Los sistemas energéticos demostraron resiliencia y durabilidad, con un consumo significativamente inferior al del modelo de referencia convencional y una generación fotovoltaica que superó la demanda a lo largo de todo el primer año, lo que motivó la obtención de la certificación GBC Energy Zero. El sistema de recogida de agua de lluvia también se mantuvo operativo, contribuyendo a la reducción del consumo interno de agua. Por el contrario, el tejado verde se fue desactivando progresivamente

debido a las dificultades de adaptación de las especies vegetales al clima local, y el aumento de las temperaturas a partir de 2025 exigió la instalación de aire acondicionado como complemento del sistema pasivo —una adaptación que fue posible gracias a la previsión ya incorporada en el proyecto original—. El estudio demuestra que los edificios sostenibles certificados son viables en ciudades pequeñas y medianas, siempre que cuenten con una gestión comprometida y un seguimiento sistemático a lo largo de su ciclo de vida.

Palabras clave: LEED v4, evaluación posterior a la ocupación, edificio sostenible, rendimiento medioambiental, Governador Valadares.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade tem se consolidado como um dos principais desafios do setor da construção civil, responsável por elevado consumo de recursos naturais, significativo gasto energético e expressiva geração de resíduos, conforme apontam relatórios internacionais que destacam o impacto desse setor nas mudanças climáticas (UNEP, 2022; WGBC, 2019). Nesse cenário, certificações ambientais como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) tornaram-se instrumentos essenciais para incentivar práticas construtivas mais eficientes, garantir menor consumo de energia e água e promover a qualidade ambiental das edificações, sendo amplamente reconhecidas como ferramentas de melhoria de desempenho ao longo do ciclo de vida do edifício (USGBC, 2014; Kibert, 2016).

O primeiro edifício certificado na categoria LEED v4 no Brasil está localizado em Governador Valadares, Minas Gerais, e foi concebido com metas ambiciosas de desempenho ambiental, incluindo a redução de 88% no consumo de energia e de 74% no uso de água (USGBC, 2018). Para alcançar tais resultados, a estratégia central consistiu em minimizar a demanda energética desde a concepção arquitetônica, priorizando princípios da Arquitetura Bioclimática, como ventilação natural e sombreamento por brises (Rangel, 2017). Estudos de simulação termo energética com base no modelo climático local confirmam que elementos como brises, cobogós e efeito chaminé contribuíram significativamente para o conforto térmico interno. Para os arquitetos do Lar Verde Lar, o desafio central foi desenvolver uma solução eficiente a partir de sistemas construtivos simples, disponíveis na região e acessíveis economicamente (Rangel, 2017; Mourão; Veloso; Souza, 2019).

Embora o Espaço Lar Verde Lar tenha sido projetado para atingir elevados padrões de desempenho ambiental, ainda não estava claro se, após anos de uso, seus sistemas construtivos, estratégias bioclimáticas e soluções sustentáveis continuariam apresentando eficiência compatível com as metas estabelecidas em projeto e com os requisitos da certificação. Diante disso, surge a seguinte questão: o Espaço Lar Verde Lar, após anos de funcionamento, apresenta um desempenho ambiental consistente com as premissas projetuais e com o nível de eficiência esperado pela certificação LEED v4, ou há uma diferença entre o desempenho previsto e o desempenho real?

Para responder a essa questão, este estudo tem como objetivo geral avaliar o desempenho real da edificação certificada pelo sistema LEED após anos de uso, verificando a eficiência dos critérios de projeto e dos sistemas construtivos implementados e sua aderência contínua aos princípios da certificação, considerando as especificidades climáticas da região. De forma mais específica, busca-se: analisar o comportamento das estratégias sustentáveis após anos de operação, comparando o desempenho real com as metas estabelecidas no momento da concepção e com os dados verificados no primeiro ano de uso da edificação; investigar possíveis perdas de eficiência, falhas operacionais ou adaptações necessárias ao longo do uso; avaliação da percepção do gestor quanto ao conforto ambiental e ao funcionamento dos sistemas; e identificar oportunidades de melhoria que garantam a continuidade dos benefícios previstos na certificação.

A relevância desta pesquisa está no fato de que a eficácia das estratégias sustentáveis depende da adequada adaptação dos critérios internacionais às condições locais, considerando variáveis como clima, disponibilidade de materiais, mão de obra e infraestrutura regional (Kibert, 2016; Cole, 2012). Apesar dos reconhecidos benefícios do LEED, como valorização imobiliária e redução de custos operacionais, sua adoção no Brasil enfrenta desafios decorrentes da necessidade de ajustar parâmetros originalmente desenvolvidos para realidades construtivas e climáticas distintas (Tavares; Lamberts, 2008; Mattos; Silva, 2018). O empreendimento Lar Verde Lar, situado em região de clima tropical com estação seca (IBGE, 2024), que demanda soluções com foco em ventilação natural, conforto térmico, sombreamento e eficiência energética, constitui objeto de estudo privilegiado para essa análise.

Avaliar seu comportamento após anos de uso permite verificar se os critérios estabelecidos em projeto se mantêm eficientes na operação cotidiana, além de possibilitar a análise crítica da aplicabilidade dos parâmetros do LEED em ambientes tropicais. Nesse sentido,

a pesquisa visa contribuir para o aperfeiçoamento de práticas projetuais e construtivas, para a consolidação de estratégias de desempenho ambiental adaptadas ao contexto brasileiro e para o fortalecimento da cultura de sustentabilidade no setor da construção civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL E O MOVIMENTO *GREEN BUILDING*

O conceito de desenvolvimento sustentável ganhou reconhecimento mundial a partir do Relatório Brundtland, publicado em 1987, que o define como a capacidade de atender às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades (WCED, 1987). Desde então, a sustentabilidade passou a orientar ações voltadas à conciliação entre crescimento econômico, preservação ambiental e bem-estar social (Oliveira, 2015). Nesse contexto, consolidou-se o movimento Green Building, ou construção verde, como uma resposta aos impactos ambientais decorrentes da expansão urbana e do elevado consumo de recursos naturais pela construção civil. Diante da significativa participação do setor no consumo de energia e na geração de resíduos, tornou-se necessária a adoção de práticas mais sustentáveis, compreendendo a sustentabilidade não como um conjunto de medidas isoladas, mas como uma nova forma de planejar, construir e operar as edificações (Araújo, 2008; CIB, 2014; Kibert, 2016).

A construção verde propõe uma abordagem integrada que considera todo o ciclo de vida da edificação, desde o projeto até a operação, por meio de estratégias voltadas à eficiência energética, ao uso racional da água, à redução dos impactos ambientais e à melhoria do conforto dos usuários (Kibert, 2016). Além dos benefícios ambientais, essas práticas podem proporcionar redução dos custos operacionais e valorização imobiliária, tornando-se um diferencial competitivo para o setor. Atualmente, o movimento Green Building está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, especialmente aos ODS 11 e 13, relacionados às cidades sustentáveis e à ação climática (ONU, 2015). Entretanto, o alcance desses benefícios depende não apenas da adoção de soluções sustentáveis durante o projeto e a construção, mas também da capacidade de manter o

desempenho previsto ao longo da operação da edificação, aspecto que reforça a importância das avaliações pós-ocupação e do monitoramento contínuo das edificações sustentáveis.

2.2 O CONCEITO DE EDIFICAÇÕES DE ALTO DESEMPENHO

As edificações de alto desempenho surgem como uma evolução natural das práticas de sustentabilidade e eficiência na construção civil, buscando unir qualidade ambiental, conforto dos usuários e desempenho técnico em um mesmo projeto. O conceito refere-se a construções projetadas e executadas de forma a atingir elevados níveis de eficiência energética, durabilidade, conforto térmico, acústico e lumínico, além de minimizar os impactos ambientais durante todo o ciclo de vida da edificação (Kibert, 2016).

Segundo a Norma Brasileira de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), o desempenho de uma edificação está relacionado ao comportamento em uso, considerando aspectos como segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Assim, o conceito de alto desempenho está diretamente vinculado ao atendimento e superação dos requisitos mínimos de desempenho, estabelecendo padrões superiores de qualidade técnica e ambiental.

Conforme John e Agopyan (2019), investir em edificações de alto desempenho representa uma estratégia fundamental para o futuro da construção civil, pois alia tecnologia, sustentabilidade e economia de recursos, reduzindo custos operacionais e aumentando a durabilidade das estruturas. Portanto, essas edificações consolidam-se como referência para o desenvolvimento urbano sustentável, servindo de modelo para políticas públicas e para o avanço do setor no Brasil.

2.3 SISTEMA DE CERTIFICAÇÃO LEED

2.3.1 Histórico e estrutura do LEED

Entre os diversos sistemas de certificação existentes, o LEED destaca-se como o mais difundido e influente no cenário mundial. Seu escopo abrange todas as fases do ciclo de vida da edificação (planejamento, construção, operação e manutenção), estabelecendo critérios que promovem eficiência hídrica e energética, uso racional de materiais e qualidade ambiental

interna, com o objetivo central de incentivar edificações de alto desempenho, capazes de aliar conforto, economia e responsabilidade ambiental (USGBC, 2014; GBC Brasil, 2020; Kriss, 2014).

O movimento em prol de edificações sustentáveis ganhou força global no final do século XX, impulsionado pela crescente conscientização acerca dos impactos ambientais da atividade humana. A indústria da construção civil, reconhecida como uma das maiores consumidoras de recursos naturais e geradora de resíduos, tornou-se um foco central para o desenvolvimento de práticas voltadas à sustentabilidade (Yudelson, 2009). Nesse cenário de busca por parâmetros e diretrizes claras, surgiu a necessidade de uma entidade que pudesse unificar e orientar o mercado em direção a um futuro mais responsável.

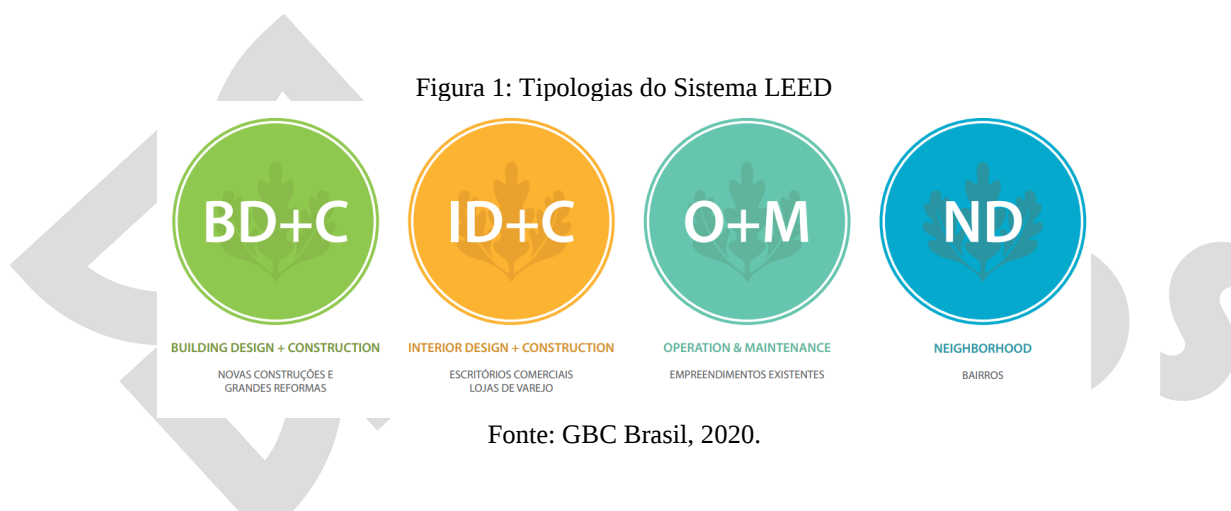
Foi nesse contexto que, em 1993, foi criado o Conselho de Construção Verde dos Estados Unidos - U.S. Green Building Council (USGBC), uma organização não governamental e multissetorial, responsável criação do sistema de certificação LEED, lançado em 2000, que rapidamente se consolidou como a principal referência mundial em edificações sustentáveis (Matthiessen; Morris, 2007; USGBC, 2020). Sua premissa fundamental era criar uma coalizão que representasse todos os elos da cadeia produtiva da construção incluindo arquitetos, engenheiros, construtoras e fabricantes de materiais, com o objetivo de transformar a maneira como os edifícios são projetados, construídos e operados. Essa transformação seria guiada por um esforço colaborativo e baseado no consenso de mercado (USGBC, 2025).

A consolidação do LEED como referência global impulsionou sua adaptação a diferentes contextos nacionais. No Brasil, esse movimento culminou, em 2007, na fundação do *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil), organização que se tornou a principal força motriz da construção sustentável no país e responsável por adaptar o LEED à realidade nacional e promover sua disseminação (GBC Brasil, 2020). A instituição atua como representante oficial do USGBC (U.S. Green Building Council) e tem papel estratégico na certificação, na educação e no fomento de mercado (Casado, 2009). Ao tropicalizar os referenciais técnicos, o GBC Brasil assegura que as práticas incentivadas sejam exequíveis e relevantes para a realidade brasileira (Silveira, 2015). Além disso, a entidade desenvolve certificações próprias, como a GBC Brasil Casa & Condomínio, e atua fortemente na capacitação profissional e na articulação com o poder público, fomentando um verdadeiro ecossistema nacional de sustentabilidade (Lima; Abrahão, 2020).

2.3.2 Categorias da certificação LEED

O sistema LEED reúne um conjunto de categorias que avaliam diferentes dimensões da sustentabilidade nas edificações. Cada uma delas possui pré-requisitos obrigatórios e créditos opcionais, que atribuem pontos conforme as práticas sustentáveis são aplicadas no projeto. Esses pontos somam-se para definir o nível de certificação obtido entre Certified, Silver, Gold ou Platinum (USGBC, 2025).

O sistema é estruturado em quatro tipologias, que correspondem às categorias de edificações avaliadas, conforme ilustrado na figura 01. Essa divisão leva em consideração as particularidades de cada tipo de empreendimento garantindo que os critérios de avaliação sejam aplicados de forma coerente à realidade e à função de cada projeto.



Dentro de cada tipologia, o LEED avalia o desempenho das edificações a partir de oito categorias de avaliação. Essas categorias constituem a base do sistema de certificação e abrangem diferentes aspectos relacionados à sustentabilidade no ambiente construído. A partir do desempenho obtido em cada uma delas, os empreendimentos acumulam pontos que determinam o nível de certificação alcançado.

Cada categoria contempla estratégias e ações voltadas à melhoria do desempenho ambiental da edificação, promovendo o uso racional dos recursos naturais, a eficiência operacional e a criação de ambientes mais confortáveis e saudáveis. O Quadro 1 apresenta as principais categorias de avaliação do sistema LEED e seus respectivos objetivos.

Quadro 1: Objetivos e estratégias de cada categoria do sistema LEED

Categoria	Objetivo principal	Principais Estratégias
Espaço Sustentável e Localização/Transporte	Integrar o edifício ao ambiente urbano e natural, promovendo mobilidade sustentável.	Aproveitamento de terrenos urbanizados; incentivo ao transporte coletivo e não motorizado; controle de ilhas de calor e drenagem eficiente.
Eficiência Hídrica	Minimizar o uso de água potável, promovendo o reuso e o aproveitamento de águas pluviais.	Instalação de dispositivos economizadores; irrigação inteligente; medição e controle do consumo de água.
Energia e Atmosfera	Reduzir o consumo energético e as emissões de gases de efeito estufa.	Uso de sistemas eficientes; comissionamento de instalações; adoção de energias renováveis; monitoramento contínuo do desempenho energético.
Materiais e Recursos	Reduzir resíduos e incentivar o uso de materiais sustentáveis e de baixo impacto ambiental.	Utilização de materiais reciclados, regionais e certificados; gestão de resíduos durante a obra e operação.
Qualidade Ambiental e Interna	Garantir ambientes saudáveis, confortáveis e produtivos para os ocupantes.	Ventilação natural adequada; conforto térmico e acústico; iluminação natural; controle de poluentes internos.
Inovação e Prioridade regional	Reconhecer práticas inovadoras e adaptar o sistema às realidades locais	Estratégias que superam requisitos padrão; soluções criativas; valorização de créditos relacionados a desafios ambientais regionais.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores, baseado no GBC Brasil (2020), 2025.

2.3.3 O processo de certificação do LEED

O processo de certificação LEED é estruturado em etapas que acompanham o ciclo de vida do empreendimento, desde o registro inicial até a emissão do certificado final. Cada fase é fundamentada em comprovações técnicas, relatórios e evidências documentais que validam o atendimento aos critérios estabelecidos pelo sistema. De acordo com o U.S. Green Building Council (USGBC, 2013), a certificação é baseada na verificação de pré-requisitos e créditos previamente definidos, permitindo que o desempenho ambiental do empreendimento seja avaliado de maneira objetiva e padronizada. Dessa forma, o LEED diferencia-se pela transparência do processo e pela utilização de critérios mensuráveis, tornando o reconhecimento ambiental verificável e comparável entre diferentes edificações.

2.4 A EFICIÊNCIA DA CERTIFICAÇÃO E O DESEMPENHO PÓS-OCUPAÇÃO

2.4.1 Desempenho projetado versus desempenho real

A chamada lacuna de desempenho, conhecida também como energy performance gap, representa a diferença existente entre o desempenho energético previsto durante a fase de projeto e aquele verificado quando o edifício entra em operação. Esse fenômeno ocorre com frequência em edificações sustentáveis e reflete as limitações dos modelos de simulação adotados para estimar o consumo energético e o conforto ambiental (Bordass; Cohen; Field, 2004). De acordo com Wilde (2014), essa diferença resulta de um conjunto de fatores técnicos, comportamentais e contextuais que interferem diretamente no uso cotidiano das edificações, e pode ser compreendida em duas dimensões complementares: a lacuna de desempenho físico, relacionada às propriedades reais dos materiais e sistemas construtivos, e a lacuna de desempenho operacional, associada ao uso efetivo da edificação por seus ocupantes.

Entre os principais motivos apontados pela literatura estão as simplificações adotadas nas simulações, a execução divergente do projeto, falhas no comissionamento dos sistemas prediais e o comportamento imprevisível dos usuários (Turner; Frankel, 2008; Mahdavi, 2024). Pesquisas realizadas em edifícios certificados LEED revelam que parte dessas construções não atingiu os níveis de eficiência esperados: cerca de 25% delas apresentaram consumo superior ao previsto (Turner; Frankel, 2008; Newsham *et al.*, 2009). Em estudo abrangente sobre edifícios comerciais e institucionais nos Estados Unidos, Scofield (2013) observou que, em média, o desempenho energético das edificações LEED não apresentou diferença estatisticamente significativa em relação a edifícios convencionais, indicando que a certificação nem sempre se traduz em maior eficiência na prática.

No contexto brasileiro, essa lacuna assume contornos ainda mais complexos. Tavares e Lamberts (2008) destacam que os sistemas de certificação internacionais, desenvolvidos originalmente para realidades climáticas e construtivas distintas, apresentam dificuldades de adaptação ao território nacional, marcado por grande diversidade climática e por padrões de uso diferenciados. Mattos e Silva (2018) reforçam que a adoção do LEED no Brasil enfrenta desafios estruturais relacionados à disponibilidade de materiais certificados, à capacitação das equipes técnicas e à ausência de dados climáticos locais detalhados para alimentar os modelos de simulação. Cavalcante e Souza (2018) identificam, especificamente, que fatores como o clima tropical e a ausência de acompanhamento pós-ocupação tendem a ampliar a diferença entre o desempenho projetado e o real em edifícios certificados no país, uma limitação que não decorre necessariamente de falhas de projeto, mas da dificuldade de prever, em modelos computacionais, o comportamento real dos sistemas em condições climáticas extremas e padrões de ocupação específicos do contexto brasileiro.

Mesmo diante dos avanços obtidos nas últimas décadas, manter o desempenho sustentável de um edifício ainda é uma tarefa complexa. Uma das dificuldades mais recorrentes é exatamente essa lacuna, que representa a diferença entre o que foi previsto em projeto e o que se verifica na prática. Essa situação geralmente está relacionada à falta de integração entre as equipes de projeto, operação e manutenção, bem como à ausência de monitoramento contínuo e de capacitação dos usuários (Bordass; Leaman, 2001; Cole, 2012).

Outro desafio diz respeito à falta de padronização e consistência nas metodologias de avaliação pós-ocupação. Em muitos casos, as análises são pontuais e isoladas, o que dificulta a comparação de resultados e o desenvolvimento de indicadores de desempenho mais confiáveis. Essa ausência de uniformidade metodológica acaba limitando o aprendizado coletivo e a evolução das práticas sustentáveis (Review of Comprehensive Post-Occupancy Evaluation Feedback, 2022). Kim *et al.* (2021) acrescentam que mesmo edifícios com sistemas de monitoramento instalados frequentemente deixam de utilizar os dados coletados de forma sistemática, perdendo a oportunidade de corrigir desvios em tempo hábil — o que aponta para uma lacuna não apenas técnica, mas também de gestão.

Além disso, o estudo *The Post-Occupancy Dilemma in Green-Rated Buildings* (2025) demonstra que a maior parte das falhas ocorre justamente na fase de operação, etapa em que sensores, sistemas automatizados e equipamentos de controle ambiental requerem manutenção e calibração constantes. Muitos empreendimentos ainda tratam a certificação como o ponto final do processo, quando ela deveria representar o início de uma trajetória contínua de aprimoramento e inovação. Para Kibert (2016), superar essas barreiras requer uma abordagem mais ampla, baseada em educação ambiental, transparência e planejamento estratégico, que integre desde o treinamento das equipes até a adoção de sistemas de monitoramento acessíveis e a promoção da recertificação periódica.

Diante disso, compreender as causas e os efeitos da lacuna de desempenho é fundamental para aprimorar as práticas de projeto e de operação de edifícios sustentáveis, especialmente no contexto brasileiro. A análise dessa discrepância reforça a importância da Avaliação Pós-Ocupação (APO) como ferramenta essencial para verificar o comportamento real das construções, identificar desvios em relação às metas originais e promover melhorias contínuas ao longo do ciclo de vida da edificação.

2.4.2 Avaliação Pós-Ocupação (APO)

Estudos apontam que o selo (Certificação LEED), isoladamente, não garante o desempenho previsto, sendo necessária a verificação dos resultados após a ocupação (Newsham *et al.*, 2009; Scofield, 2013). Assim, a APO torna-se uma ferramenta essencial para medir a efetividade das soluções adotadas e confirmar se o edifício mantém o padrão de eficiência proposto, uma vez que essa avaliação consiste em um método de análise que busca compreender o comportamento real das edificações após sua entrega e uso (Alborz *et al.*, 2015).

A abordagem utilizada pela APO, além de examinar o desempenho técnico, funcional e ambiental dos espaços, também considera a percepção e a satisfação dos usuários. Trata-se de um processo sistemático voltado à verificação da eficiência e da adequação do ambiente construído, originalmente sistematizado por Preiser e Vischer (2005) e amplamente desenvolvido nas últimas décadas (Alborz *et al.*, 2015; Review OF Comprehensive Post-Occupancy Evaluation Feedback, 2022). Nessa perspectiva, Ono *et al.* (2018) afirmam que a APO é um conjunto de

procedimentos e metodologias destinado a aferir o atendimento às necessidades objetivas e subjetivas dos ocupantes ao longo do uso do edifício.

A aplicação da APO permite identificar falhas de projeto, operação e manutenção, além de avaliar se as metas de desempenho estabelecidas inicialmente foram efetivamente alcançadas. Ornstein (2011) ressalta que essa metodologia é essencial para aprimorar a qualidade ambiental das edificações, uma vez que fornece informações que podem ser utilizadas em novos projetos. Os autores Villa e Ornstein (2013) acrescentam que a APO atua como um mecanismo de retroalimentação, promovendo o aperfeiçoamento contínuo do processo de concepção e gestão do ambiente construído.

Dessa forma, observa-se que a manutenção das práticas sustentáveis e o monitoramento contínuo do uso são fundamentais para consolidar a eficácia das certificações ambientais ao longo do tempo. Como destacam Turner e Frankel (2008), o desempenho real de um edifício sustentável depende não apenas de sua concepção inicial, mas também da qualidade da gestão durante sua operação. Mesmo entre construções certificadas, diversos estudos apontam discrepâncias significativas entre o desempenho previsto em projeto e o desempenho efetivamente alcançado, revelando desafios ainda presentes na fase de uso. Newsham *et al.* (2009), por exemplo, verificaram que edifícios certificados LEED nos Estados Unidos consumiram, em média, 18% a 39% menos energia do que edificações convencionais, mas cerca de 28% deles apresentaram consumo superior ao projetado, evidenciando que a certificação não elimina a lacuna de desempenho, mas pode reduzi-la quando acompanhada de gestão eficiente. Neste estudo, o Espaço Lar Verde Lar apresentou consumo energético real 17% acima do projetado e consumo hídrico total expressivamente superior ao estimado no primeiro ano de operação, padrão que será detalhado e discutido na seção de resultados.

Essa lacuna evidencia que o sucesso de um empreendimento sustentável vai além da adoção de tecnologias eficientes, exigindo capacitação técnica, políticas operacionais bem estruturadas e acompanhamento sistemático dos resultados. Assim, a sustentabilidade deve ser compreendida como um processo integrado, dinâmico e permanente, que articula aspectos tecnológicos e humanos e requer aprendizado contínuo ao longo do ciclo de vida da edificação (Zheng *et al.*, 2024).

2.5 O PAPEL DA GESTÃO

Manter o desempenho sustentável de uma edificação ao longo de sua vida útil é um dos grandes desafios contemporâneos. A eficiência obtida durante o projeto só se consolida quando o edifício é operado, mantido e monitorado de forma contínua — a fase de operação é, portanto, o verdadeiro teste das estratégias sustentáveis (Min *et al.*, 2016). Nesse contexto, a gestão de *facilities* desempenha papel central: trata-se do conjunto de processos voltados à administração dos recursos físicos e dos sistemas prediais que, segundo a ISSO 41011:2017, integra pessoas, processos e tecnologias para garantir que o ambiente construído opere de forma eficiente e segura (ISSO, 2017). Quando bem estruturada, essa gestão reduz consideravelmente a diferença entre o desempenho esperado e o real.

Entretanto, os resultados dependem não apenas de sistemas e equipamentos, mas também de cultura organizacional. A ausência de treinamento e engajamento dos usuários frequentemente leva ao uso incorreto das tecnologias instaladas, comprometendo os ganhos obtidos com o projeto (Cole, 2012). Sem coleta e análise regular de dados sobre consumo de energia, conforto e qualidade ambiental, torna-se difícil identificar falhas e oportunidades de melhoria. Por isso, a gestão eficaz deve integrar manutenção preventiva, monitoramento sistemático e comunicação ativa com os ocupantes, promovendo uma rotina de aprendizado contínuo ao longo do ciclo de vida da edificação (Kim *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2024).

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO E ABORDAGEM DA PESQUISA

A pesquisa adota abordagem qualitativa e descritiva, configurando-se como estudo de caso voltado à compreensão das práticas sustentáveis implementadas no Espaço Lar Verde Lar e dos fatores que influenciaram seu desempenho ao longo do processo de certificação e operação. Conforme Yin (2015), o estudo de caso é um método de investigação empírica adequado à análise de fenômenos contemporâneos em seu contexto real, permitindo uma leitura aprofundada e contextualizada do objeto de estudo. O caráter descritivo da pesquisa, por sua vez, orientou a

identificação e interpretação das estratégias sustentáveis empregadas, evidenciando tanto os resultados positivos quanto as limitações observadas (Gil, 2008).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quanto aos procedimentos metodológicos, basearam-se na análise documental, pesquisa bibliográfica e estudo de caso. A análise documental foi desenvolvida a partir dos materiais disponibilizados pelo proprietário do empreendimento, incluindo projetos, relatórios técnicos, registros fotográficos e documentos referentes ao processo de certificação LEED, os quais permitiram compreender as etapas de concepção, execução e operação, bem como identificar as práticas sustentáveis implementadas e sua contribuição para o desempenho final da edificação.

Conforme Marconi e Lakatos (2017), a análise documental constitui uma técnica de pesquisa que permite examinar documentos originais, escritos ou visuais, com o objetivo de extrair informações relevantes para a compreensão do fenômeno estudado. A pesquisa bibliográfica, por sua vez, foi utilizada como base teórica e metodológica para fundamentar a análise documental, a partir de obras, artigos científicos e publicações institucionais que abordam a construção sustentável, o sistema LEED e suas aplicações no contexto brasileiro.

3.3 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio da análise de documentos técnicos, relatórios e plantas disponibilizados pelo proprietário do empreendimento, bem como na realização do estudo *in loco* no qual foram analisados a condição atual e o levantamento de informações por meio de entrevista semiestruturada com o responsável pela operação do edifício.

Após a coleta, os dados foram examinados de forma qualitativa, seguindo os princípios da análise interpretativa proposta por Bardin (2011), que busca identificar padrões e significados nos conteúdos observados. A análise se concentrou em dois eixos principais: os aspectos positivos, que representam as soluções sustentáveis bem-sucedidas, e os aspectos críticos, que evidenciam as limitações técnicas, operacionais ou contextuais enfrentadas ao longo do processo de certificação.

No conjunto dos aspectos positivos, foram observadas práticas que contribuíram de maneira significativa para o desempenho ambiental do edifício, como a integração de estratégias passivas de ventilação, o aproveitamento de iluminação natural e o uso de materiais certificados e de baixo impacto ambiental. Em relação aos aspectos críticos, foram verificados os desafios relacionados à manutenção de alguns sistemas, ao acompanhamento contínuo dos indicadores de desempenho e à necessidade de maior integração entre os agentes envolvidos na operação do edifício.

Cabe destacar que a presente pesquisa não contemplou a aplicação de questionários estruturados de satisfação dos usuários nem a realização de medições instrumentais objetivas de conforto térmico, acústico ou lumínico. Essa opção metodológica foi deliberada: dado o reduzido número de ocupantes regulares do edifício e o caráter qualitativo do estudo, optou-se pela entrevista semiestruturada com o responsável pela operação como instrumento mais adequado para capturar uma visão abrangente do desempenho e da percepção ambiental ao longo do tempo. Reconhece-se, entretanto, que a ausência de medições instrumentais constitui uma limitação do estudo, uma vez que dados objetivos de temperatura interna, níveis de iluminação e conforto acústico permitiriam uma análise mais precisa e comparável com os parâmetros normativos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Espaço Lar Verde Lar está localizado em Governador Valadares, Minas Gerais, e foi desenvolvido para abrigar a sede da empresa Controle Prestação de Serviços Ltda. A edificação possui área construída de 189 m² e foi concebida com o objetivo de incorporar soluções voltadas à sustentabilidade, eficiência energética e uso racional dos recursos naturais.

O empreendimento recebeu a certificação LEED v4 BD+C nível Gold, tornando-se o primeiro edifício brasileiro a obter essa certificação na versão v4. Após seu primeiro ano de operação, também conquistou a certificação GBC Energy Zero, resultado da capacidade de gerar mais energia do que consumiu ao longo do período analisado.

A escolha do Espaço Lar Verde Lar como objeto de estudo está relacionada ao seu caráter inovador e à possibilidade de avaliar, em condições reais de uso, a aplicação dos critérios de sustentabilidade propostos pelo sistema LEED. Além disso, sua localização em uma região de

clima quente e seco permite analisar a adequação das estratégias adotadas às condições climáticas características do interior de Minas Gerais.

4.2 ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE PROJETO E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ADOTADAS PARA A CERTIFICAÇÃO

A certificação LEED v4 BD+C Gold do Espaço Lar Verde Lar foi alcançada a partir da adoção de soluções de projeto voltadas à eficiência no uso de recursos naturais e à melhoria do desempenho ambiental da edificação. O Quadro 2 apresenta as principais estratégias implementadas, a pontuação obtida em cada categoria de avaliação e as limitações identificadas durante o processo de certificação (Gonçalves; Tosetto, 2018).

Quadro 2: Soluções construtivas e estratégias adotadas para a certificação.

Categoria e Pontos	%	Soluções construtivas e estratégias adotadas	Créditos não obtidos / Limitações identificadas
Processo Integrativo 1/1	100	Processo multidisciplinar integrado desde a concepção do projeto; Definição conjunta de estratégias passivas: ventilação natural, brises, cobogós e telhado verde; e Eliminação da dependência de sistemas mecânicos de climatização.	Pontuação máxima alcançada; sem limitações identificadas nesta categoria
Localização e Transporte 9/18	50	Densidade do entorno: padarias, farmácias, escolas, igrejas e supermercados em raio de 800m (5/5); Três pontos de ônibus a até 400 m do edifício (4/5); 8 bicicletários internos e externos com vestiário e chuveiro; e Ciclovia exclusiva na via arterial lindeira.	Estacionamento preferencial para veículos de baixa emissão; Acesso a transporte de alta capacidade (ponto parcial); e Uso de veículos compartilhados.
Espaço Sustentável 3/10	30	80% da área total (206,4 m ²) coberta por materiais permeáveis; Telhado verde com 75% de vegetação e 9% de painéis fotovoltaicos; Jardins externos (36 m ²) e pavimento permeável (28 m ²); e Controle de erosão e sedimentação durante a obra para proteção ao Rio Doce.	Gestão de águas pluviais (crédito não solicitado); Avaliação e proteção de habitat do terreno; e Redução da poluição luminosa.
Eficiência Hídrica 8/11	73	Redução de 93% no consumo externo de água: de 8.426 para 568 L/ano; Captação de água pluvial em cisternas: 38.690 L/ano que supre 98% da demanda; Vasos sanitários de baixo fluxo abastecidos por água de chuva; Irrigação subterrânea por gotejamento com sensor de umidade do solo; e Redução total de 73% no consumo hídrico em relação ao modelo de referência.	Crédito de uso externo de água (pontuação parcial); e Torre de resfriamento, não aplicável ao projeto
Energia Atmosfera 24/33	73	Consumo energético 82% inferior ao modelo de referência ASHRAE 90.1-2010 (18/18); Ventilação cruzada e efeito chaminé; Brises horizontais fixos e verticais móveis para controle da insolação; Envelope em blocos celulares autoclavados (condutividade: 0,16 W/m·K); 8 painéis fotovoltaicos com produção estimada de 3.644 kWh/ano (65% do consumo); Sistema solar térmico: 2 coletores + reservatório de	Comissionamento avançado dos sistemas prediais; Medição/verificação avançada de energia; e Resposta à demanda.

		300 L para aquecimento de água; e Iluminação 100% LED (DPL de 6 W/m ²) com sensores de presença e fotocélulas.	
Materiais e Recursos 2/13	15	Gestão de resíduos de construção e demolição (separação e destinação adequada); Piso com 97% de materiais naturais: óleo de linhaça, farinha de madeira e juta; e Declaração Ambiental de Produto (DAP/EPD) verificada por terceiros para o revestimento.	Declaração ambiental dos demais materiais, mercado brasileiro sem oferta suficiente à época; Análise do ciclo de vida da construção; e Rastreabilidade de origem e conteúdo reciclado dos produtos.
Qualidade Ambiental Interna 5/16	31	Iluminação natural valorizada com tintas de alta refletância (teto: 85%; paredes: 75%); Créditos de luz natural e vistas de qualidade para o exterior pontuados; Modelo energético confirma conforto térmico em mais de 88% do período de ocupação anual (ASHRAE 55-2010); e Ventiladores de teto para compensação nos períodos fora da zona de conforto.	Conforto térmico formal documentação específica não atendida; Desempenho acústico; Materiais de baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COV); e Monitoramento da qualidade do ar interno.
Inovação 5/6	83	Estratégias inovadoras que superam os requisitos padrão da certificação (4/5); Profissional credenciado LEED AP integrante da equipe de projeto (1/1); e Primeiro empreendimento certificado LEED v4 no Brasil.	Um ponto de inovação não obtido.
Prioridade Regional 3/3	100	Pontuação máxima na categoria (3/3); Densidade do entorno e diversidade de usos reconhecidos como prioridade local; e Otimização do desempenho energético e produção renovável valorizados para o clima tropical seco.	Pontuação máxima alcançada; sem limitações identificadas nesta categoria.
Total geral	54	Nível de Certificação Obtido: LEED Gold (60 a 79 pontos)	

Fonte: Elaborado pelos autores com base em USGBC (2018) e na documentação técnica do empreendimento, 2025.

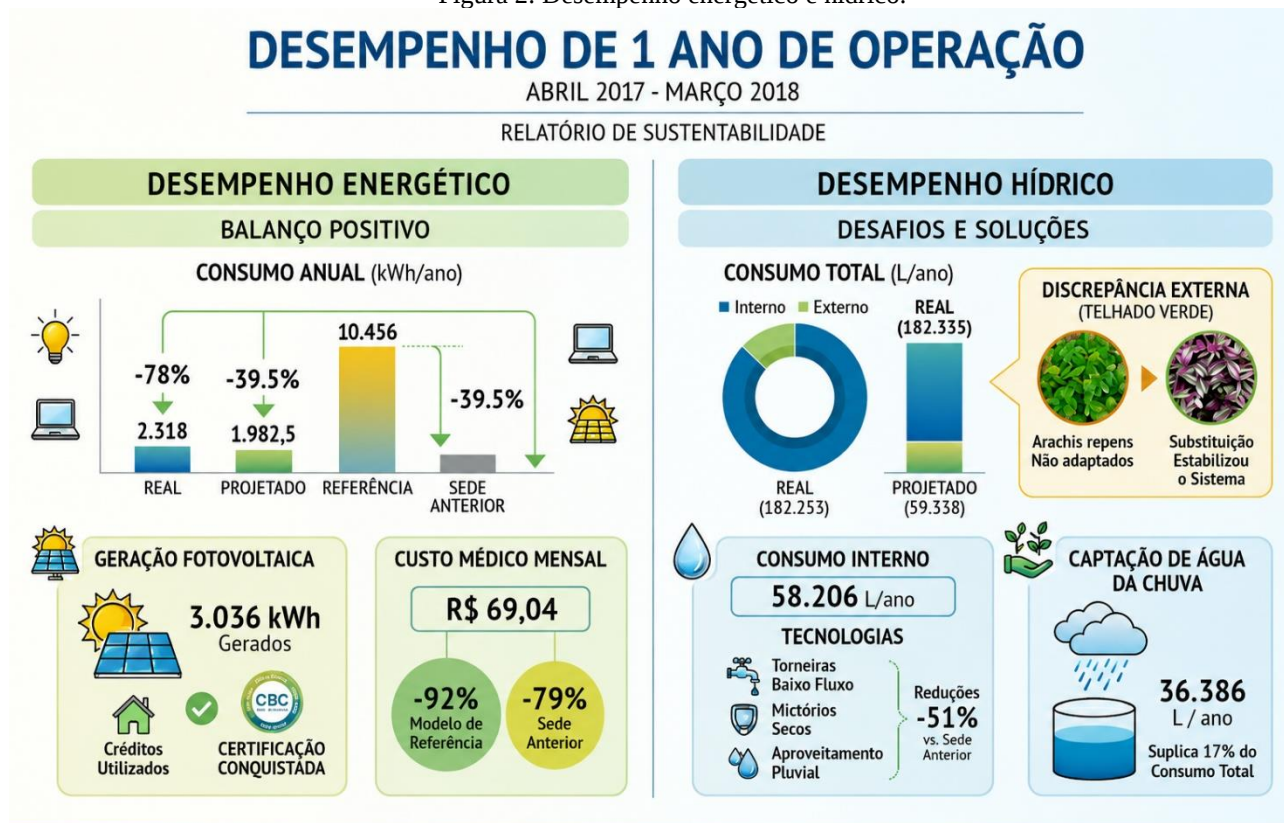
O desempenho consolidado nas categorias Energia e Atmosfera (24/33 pontos) e Eficiência Hídrica (8/11 pontos) revela que o projeto concentrou seus esforços nas dimensões de maior impacto ambiental e financeiro, alcançando resultados expressivos. Em contrapartida, a categoria Materiais e Recursos (2/13 pontos) evidencia uma limitação estrutural do mercado brasileiro de construção sustentável à época da certificação, e não uma negligência projetual, fator detalhado na análise de cada categoria e retomado na discussão sobre o desempenho pós-ocupação.

4.3 DESEMPENHO VERIFICADO NO PRIMEIRO ANO DE OPERAÇÃO

Após a ocupação em março de 2017, os dados de consumo de energia e água foram monitorados mensalmente por 12 meses, de abril de 2017 a março de 2018, resultando no

Relatório de 1 Ano de Operação (Gonçalves; Tosetto, 2018) e no Estudo de Caso publicado pelo USGBC (2018).

Figura 2: Desempenho energético e hídrico.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Gonçalves; Tosetto (2018) e USGBC (2018).

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE DESEMPENHO PROJETADO E DESEMPENHO REAL: A LACUNA DE DESEMPENHO

A análise comparativa entre os valores projetados em simulação e os dados reais coletados ao longo do primeiro ano de operação permite examinar a existência e a natureza da chamada lacuna de desempenho (energy performance gap) no Espaço Lar Verde Lar. Conforme define Wilde (2014), essa lacuna representa a diferença entre o desempenho energético ou ambiental previsto durante a fase de projeto e aquele efetivamente verificado durante a operação do edifício, fenômeno recorrente em edificações sustentáveis certificadas e amplamente documentado na literatura especializada (Bordass; Cohen; Field, 2004; Turner; Frankel, 2008; Newsham *et al.*, 2009).

No caso do Lar Verde Lar, os resultados apontam para uma lacuna de pequena magnitude no consumo de energia e de magnitude mais expressiva no consumo total de água, com causas distintas em cada dimensão.

A comparação entre os valores projetados e os dados reais do primeiro ano de operação revela lacunas de magnitude e natureza distintas nas dimensões energética e hídrica, conforme sintetizado no Quadro 4.

Quadro 4 — Comparativo entre desempenho projetado e real no 1º ano de operação

Dimensão	Modelo de referência	Projetado	Real (1º ano)	Desvio
Consumo energético	10.456 kWh/ano	1.982,5 kWh/ano	2.318 kWh/ano	+17% acima do projetado
Consumo hídrico total	147.578 L/ano	39.338 L/ano	182.335 L/ano	+364% acima do projetado
Consumo hídrico interno	—	32.522 L/ano	58.206 L/ano	+79% acima do projetado
Captação pluvial	—	38.690 L/ano	36.386 L/ano	-6% abaixo do estimado

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Gonçalves; Tosetto (2018).

A lacuna energética de 17%, embora presente, está dentro dos limites esperados para edifícios certificados, Turner e Frankel (2008) apontam que desvios de até 25% são frequentes, decorrentes de simplificações nos modelos de simulação e do comportamento real dos ocupantes, conforme discutido por Mahdavi (2024). O consumo real permaneceu 78% abaixo do modelo de referência convencional, e o sistema fotovoltaico gerou superávit energético em todos os meses do período avaliado.

A lacuna hídrica total, expressivamente maior, tem causa identificável e circunscrita: as dificuldades de adaptação da grama amendoim (*Arachis repens*) nos telhados verdes geraram variações atípicas no consumo de irrigação ao longo de todo o primeiro ano. Trata-se de um problema pontual de seleção de espécie vegetal, reconhecido e corrigido pela gestão, e não de falha sistêmica do projeto hídrico. Isolando o consumo interno, a redução de 51% frente à sede anterior confirma que as estratégias de baixo fluxo, mictórios secos e aproveitamento pluvial geraram economias reais e estruturais.

No contexto brasileiro, Cavalcante e Souza (2018) destacam que fatores como o clima tropical, o comportamento dos usuários e a ausência de monitoramento pós-ocupação tendem a ampliar as lacunas de desempenho em edifícios certificados. O Lar Verde Lar representa um caso

em que o monitoramento foi instituído desde o início da operação, o que permitiu identificar o problema da irrigação e corrigi-lo dentro do primeiro ano, uma demonstração prática de que o acompanhamento sistemático reduz o impacto da lacuna ao longo do ciclo de vida da edificação.

4.5 CONDIÇÕES VERIFICADAS APÓS ANOS DE USO

Com o objetivo de avaliar o desempenho real da edificação após um período prolongado de operação, foi realizada visita técnica ao Espaço Lar Verde Lar em 08 de maio de 2026, data em que o edifício completava aproximadamente nove anos de uso contínuo desde sua ocupação em março de 2017. Na ocasião, foi conduzida entrevista semiestruturada com o responsável pela operação e manutenção da edificação, o gerente Júlio Cesar, que assumiu a gestão após o período inicial de supervisão direta do proprietário, Reinaldo Tosetto. A entrevista abrangeu dez eixos temáticos, cobrindo desde o desempenho dos sistemas técnicos até a percepção dos usuários quanto ao conforto ambiental e à funcionalidade do espaço.

O conjunto de informações obtido permitiu identificar quais estratégias sustentáveis se mantiveram eficientes ao longo do tempo, quais sofreram deterioração ou foram adaptadas e quais não resistiram às condições climáticas e de uso da região. Os resultados são apresentados a seguir, organizados por dimensão de desempenho.

4.5.1 Conforto térmico e a instalação do ar-condicionado

A ventilação natural foi o maior desafio de longo prazo do Lar Verde Lar. Durante os primeiros anos de ocupação, as estratégias passivas (ventilação cruzada, efeito chaminé, brises e cobogós), mostraram-se suficientes para garantir conforto térmico dentro dos padrões previstos em projeto. No entanto, dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) registram aumento na frequência de eventos de calor extremo em Governador Valadares nas últimas décadas, com temperaturas máximas acima de 41°C registradas em 2012, 2015, 2020 e 2023 (INMET, 2024). Esse cenário tornou progressivamente insuficiente o sistema passivo de ventilação nos períodos de maior calor, demandando a complementação com climatização mecânica.

Foram instalados aparelhos de ar-condicionado na sala de recepção e na sala de gerência. Durante o inverno, único período em que as temperaturas são mais amenas, o equipamento permanece desligado e a ventilação natural continua suficiente. Nos demais períodos, o uso é eventual: nas manhãs mais frescas, a operação ocorre apenas com janelas abertas.

É relevante observar que a instalação dos aparelhos não exigiu nenhuma intervenção estrutural, pois o projeto original já previa os pontos elétricos e os espaços físicos para acomodação das unidades evaporadoras e condensadoras, previsão registrada nas pranchas arquitetônicas e mencionada no case study publicado pelo USGBC (2018). Essa decisão demonstra a inteligência adaptativa do processo integrativo adotado, que antecipou possíveis necessidades futuras sem comprometer a identidade sustentável do edifício.

Apesar da instalação, brises, cobogós e ventiladores de teto continuam em pleno funcionamento como estratégias complementares. Os usuários avaliam o ambiente como confortável e adequado para a rotina de trabalho, sendo o calor nos picos de temperatura a única reclamação recorrente, integralmente mitigada com o ar-condicionado instalado.

4.5.2 Cobertura verde: limitações climáticas e desativação progressiva

O telhado verde foi o componente de menor desempenho de longo prazo entre todas as estratégias do projeto, e seu insucesso representa provavelmente o achado mais significativo desta pesquisa, não apenas pelo impacto direto no desempenho da edificação, mas pelas implicações que carrega para o planejamento de edificações sustentáveis em regiões de clima tropical seco.

Conforme relatado pelo gestor na entrevista realizada em maio de 2026, a cobertura resistiu ao clima de Governador Valadares por aproximadamente três a quatro anos após a ocupação, período em que cumpriu sua função de controle térmico de forma perceptível pelos usuários. A partir desse ponto, a combinação de calor intenso, radiação solar elevada e dificuldades de adaptação das espécies vegetais levou à deterioração progressiva da vegetação. A sequência de tentativas de adaptação teve início ainda no primeiro ano de operação, com a substituição da grama amendoim (*Arachis repens*) pelo lambari roxo (*Tradescantia zebrina*) em março de 2018 (Gonçalves; Tosetto, 2018). Mesmo com a substituição, a nova espécie também não resistiu às condições climáticas locais ao longo dos anos seguintes. A seção de maior altura

da cobertura, mais exposta à irradiação direta e de mais difícil acesso para manutenção, foi completamente desativada, e as demais áreas perderam sua funcionalidade técnica: a vegetação remanescente transformou-se em capim espontâneo, sem as características de substrato, retenção hídrica e massa térmica que caracterizavam o sistema projetado.

O impacto da desativação do telhado verde não se restringe à perda de um único elemento construtivo, ele opera em cascata sobre múltiplas dimensões de desempenho do edifício. Do ponto de vista hídrico, a desativação levou ao desligamento do sistema de irrigação automatizado, que permanece instalado, mas sem uso ativo. A manutenção das plantas remanescentes nos jardins ao nível do solo passou a ser feita manualmente, com irrigação por mangueira duas vezes por semana, solução que elimina a eficiência e a precisão do sistema automatizado por gotejamento original. Do ponto de vista térmico, a perda da massa vegetal sobre a laje de cobertura reduziu o isolamento passivo do edifício, contribuindo para o aumento da carga térmica interna nos períodos de maior calor e pressionando a necessidade de complementação por climatização mecânica. Do ponto de vista da certificação, a desativação compromete parcialmente os créditos de redução do efeito de ilha de calor e de espaços abertos, que consideravam a cobertura vegetada em seus cálculos originais. A perda funcional não implica a perda retroativa da certificação já concedida, mas representa uma redução real e documentada do desempenho ambiental em relação aos parâmetros originais (USGBC, 2025).

Essa cadeia de consequências ilustra com precisão o argumento de Bordass e Leaman (2001) sobre a interdependência dos sistemas em edificações sustentáveis: a falha de um componente raramente é isolada, mas tende a propagar-se por sistemas adjacentes, amplificando a lacuna entre o desempenho projetado e o real. No caso do Lar Verde Lar, o insucesso do telhado verde repercutiu diretamente nos resultados hídricos, térmicos e de pontuação LEED, dimensões que, analisadas separadamente, poderiam ter outras explicações, mas que encontram uma causa comum na escolha inadequada das espécies vegetais.

Do ponto de vista técnico, o episódio evidencia uma limitação relevante no processo de seleção de espécies para coberturas verdes em climas tropicais secos: tanto a grama amendoim quanto o lambari roxo são plantas amplamente utilizadas em projetos paisagísticos brasileiros, mas foram selecionadas sem estudos prévios específicos sobre sua resistência às condições de substrato raso, alta irradiação e baixa umidade relativa características das coberturas expostas de Governador Valadares. Kibert (2016) destaca que a eficiência de sistemas bioclimáticos em

edificações sustentáveis depende diretamente da adequação das soluções adotadas às condições climáticas locais, uma premissa que, no caso das coberturas vegetadas, exige não apenas o conhecimento botânico das espécies, mas dados experimentais sobre seu comportamento em condições de estresse térmico e hídrico equivalentes às do sítio de implantação.

A experiência do Lar Verde Lar aponta, portanto, para uma lacuna relevante na literatura e na prática de coberturas verdes no Brasil: a ausência de protocolos sistematizados de seleção de espécies para coberturas em regiões de clima tropical com estação seca pronunciada. O desenvolvimento desses protocolos, com base em dados experimentais e monitoramento de longo prazo, representa uma contribuição fundamental que a pesquisa aplicada em arquitetura sustentável pode oferecer ao setor da construção civil brasileiro, e que poderia evitar que outros projetos reproduzam o mesmo padrão de insucesso identificado neste estudo (Zheng *et al.*, 2024).

4.5.3 Sistemas energéticos: desempenho sustentado

Em contraste com o telhado verde, os sistemas energéticos apresentaram desempenho consistente e duradouro ao longo dos nove anos. Os oito painéis fotovoltaicos permanecem em pleno funcionamento, demandando apenas limpeza periódica como manutenção, sem substituição de componentes. Segundo o gestor, a geração de energia contínua cobrindo a demanda do edifício mesmo após a instalação dos aparelhos de ar-condicionado, cujo impacto no consumo foi descrito como moderado.

O sistema de iluminação permanece integralmente preservado: lâmpadas LED, sensores de presença, fotocélulas e temporizadores de desligamento automático operam corretamente, com manutenções pontuais de reconfiguração quando necessário. Nenhum componente elétrico precisou ser adaptado após a ocupação. O monitoramento do consumo é realizado regularmente por meio da conta de energia e de aplicativo de gestão, e o gestor confirmou que não houve aumento nos custos de energia ao longo dos anos, exceto pela parcela atribuível aos aparelhos de ar-condicionado.

4.5.4 Eficiência hídrica: continuidade e adaptações

O sistema de captação e aproveitamento de água pluvial permanece em pleno funcionamento após nove anos. A cisterna não exigiu manutenção estrutural, os filtros e bombas operam normalmente, e a água de chuva continua sendo utilizada para o abastecimento dos vasos sanitários. Os dispositivos economizadores também seguem operando corretamente.

A principal alteração foi a desativação do sistema de irrigação automatizado, diretamente relacionada à perda da cobertura verde. O equipamento está instalado e pode ser reativado se necessário, mas permanece inativo. Ainda assim, o gestor confirma que o consumo atual da edificação permanece inferior ao de uma edificação convencional de mesmo porte, com economia percebida especialmente no aproveitamento pluvial para as descargas sanitárias.

4.5.5 Materiais e sistemas construtivos: durabilidade e substituições

A maioria dos materiais e elementos construtivos demonstrou boa durabilidade. Blocos de concreto celular autoclavado, esquadrias de alumínio, cobogós e estruturas de brise-soleil permanecem em bom estado de conservação. Os brises verticais móveis e horizontais fixos continuam operando como estratégias de controle solar.

O principal material que apresentou desempenho abaixo do esperado foi o revestimento de piso Marmóleum, fabricado com óleo de linhaça, farinha de madeira e juta, o único disponível no mercado brasileiro à época com DAP/EPD verificada por terceiros. O material apresentou progressivos afundamentos pontuais nas áreas de maior tráfego e peso, comprometendo a uniformidade estética.

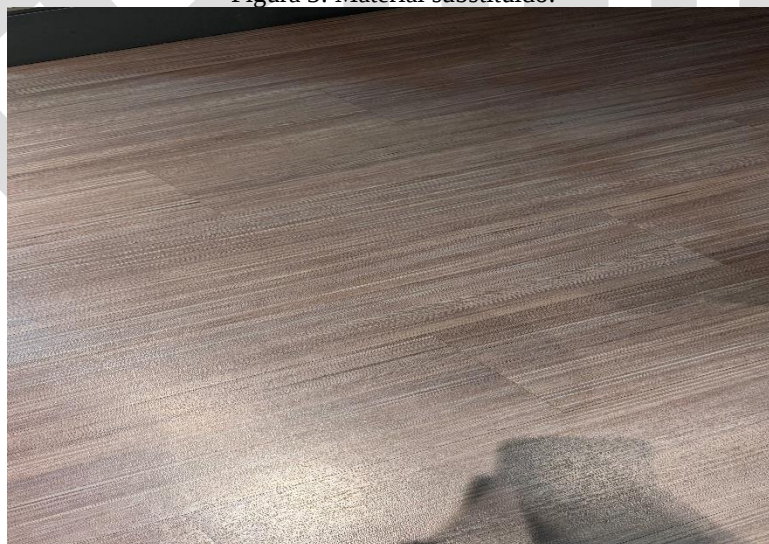
Figura 2: Material com afundamentos e com estética danificada.



Fonte: Próprios autores (2026).

Em 2025, todo o revestimento foi substituído por outro piso de composição sustentável, com maior resistência à compressão. A substituição foi motivada por questões estéticas, e não por falha estrutural ou risco de segurança.

Figura 3: Material substituído.



Fonte: Próprios autores (2026).

Outro elemento que demandou manutenção foi o verniz das janelas de madeira de maior porte, que sofreu desgaste com os anos de exposição ao clima local. Foi também identificado um problema de infiltração pela claraboia da área de ventilação por efeito chaminé, ainda sem

solução definitiva. Embora não comprometa o sistema de ventilação, representa uma pendência que merece atenção para evitar danos estruturais ao longo do tempo.

4.5.6 Qualidade ambiental interna e percepção dos usuários

Segundo relato do gestor entrevistado, a iluminação natural é apontada como o principal ponto forte: o edifício é descrito como bem iluminado durante o dia, sem necessidade de acionamento das luminárias artificiais. O conforto térmico é considerado adequado para a rotina de trabalho, com a ressalva de que nos períodos de pico de temperatura o ar-condicionado é necessário em parte do dia.

Não há relatos de problemas com qualidade do ar, odores ou umidade. O layout interno não foi alterado desde a ocupação, preservando as condições de circulação de ar previstas em projeto. Os usuários percebem o ambiente como saudável, produtivo e confortável, reconhecendo diferença clara em relação a edificações convencionais. O gerente destacou que, como usuário diário, percebe que "foi tudo bem pensado para a construção".

A edificação é reconhecida como referência de sustentabilidade em Governador Valadares. Os usuários compreendem o funcionamento dos sistemas sustentáveis e colaboram ativamente para a manutenção do desempenho. O investimento na certificação LEED é avaliado pelo gestor como integralmente justificado, descrito como "fenomenal" do ponto de vista técnico e econômico, o que é confirmado pelos dados do relatório de 1 ano de operação, que apontava payback (retorno) estimado de 5,5 anos com economia anual de aproximadamente R\$ 9.000,00 em água e energia.

4.6 SÍNTESE DO DESEMPENHO PÓS-OCUPAÇÃO: DO PRIMEIRO ANO AOS NOVE ANOS DE USO

A comparação entre os dados do primeiro ano de operação e as informações coletadas na visita técnica de maio de 2026 permite traçar um panorama abrangente do desempenho pós-ocupação do Espaço Lar Verde Lar ao longo de nove anos. O quadro a seguir sintetiza as principais transformações verificadas em cada dimensão avaliada.

Quadro 3: Síntese comparativa do desempenho: 1º ano versus condição atual.

Sistema	1º Ano (2017–2018)	Condição Atual (2026)	Status
Painéis fotovoltaicos	3.036 kWh gerados; superávit em todos os 12 meses; certificação GBC Energy Zero	Funcionamento integral; apenas limpeza periódica; geração cobre demanda mesmo com AC	Mantido
Consumo energético (vs. referência)	2.318 kWh/ano (17% acima do projetado); 78% abaixo do modelo de referência	Consumo moderadamente aumentado pelo AC; ainda abaixo do modelo de referência	Mantido
Iluminação LED e automação	Sistema completo: LED, sensores de presença, fotocélulas e temporizadores	Todos os componentes em pleno funcionamento; sem substituições necessárias	Mantido
Captação pluvial e cisterna	36.386 L coletados (próximo à estimativa de 38.690 L); 17% do consumo total	Cisterna, filtros e bombas operacionais; chuva ainda abastece vasos sanitários	Mantido
Eficiência hídrica interna	58.206 L/ano (79% acima do projetado); redução de 51% frente à sede anterior	Dispositivos economizadores funcionando; consumo inferior ao convencional	Mantido
Brises e cobogós	Em pleno funcionamento; controle solar e ventilação conforme projetado	Bom estado de conservação; continuam operando como estratégias passivas	Mantido
Conforto térmico passivo	88% do período de ocupação dentro da zona de conforto ASHRAE 55 (sem AC)	Ventilação passiva insuficiente nos picos de calor desde 2025; AC instalado	Adaptado
Sistema de irrigação automatizado	Problemas com <i>Arachis repens</i> ; substituída por <i>Tradescantia zebrina</i> (mar. 2018)	Sistema desativado; manutenção manual das plantas remanescentes	Adaptado
Revestimento de piso (Marmóleum)	Material com DAP/EPD; único com certificação ambiental no mercado BR à época	Afundamentos progressivos em áreas de tráfego; substituído em 2025	Substituído
Telhado verde	Vegetação com dificuldades desde o 1º ano; consumo de irrigação acima do projetado	Completamente desativado após 3–4 anos; vegetação transformada em capim	Desativado
Custo operacional (água + energia)	R\$ 69,04/mês em média; redução de 92% vs. referência e 79% vs. sede anterior	Ligeiro aumento pelo AC; ainda significativamente abaixo do modelo de referência	Mantido

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Gonçalves; Tosetto (2018), USGBC (2018) e entrevista com Júlio Cesar (2026).

A análise do desempenho ao longo de nove anos revela que as estratégias de maior durabilidade foram justamente as mais simples e passivas: sistemas fotovoltaicos, iluminação LED, captação pluvial e elementos arquitetônicos como brises e cobogós mantiveram-se funcionais sem intervenções significativas. Em contrapartida, os sistemas que dependiam de vegetação ou de condições climáticas específicas, telhado verde e ventilação passiva exclusiva, foram os mais vulneráveis ao longo do tempo.

O denominador comum das principais falhas identificadas é o agravamento das condições climáticas locais, fator externo ao controle projetual que reforça o argumento de Mahdavi (2024) sobre a necessidade de incorporar cenários de mudança climática aos modelos de simulação,

especialmente em regiões de clima quente. Nesse sentido, a previsão de pontos para instalação de ar-condicionado desde a concepção revelou-se uma decisão acertada, não como antecipação de fracasso, mas como expressão da flexibilidade adaptativa que Kibert (2016) e Cole (2012) apontam como característica essencial de edificações sustentáveis de alto desempenho.

Por fim, a existência de plano de manutenção e registros históricos de intervenções confirma que a edificação é gerida com o comprometimento que a literatura recomenda para sustentar o desempenho ao longo do ciclo de vida (Min *et al.*, 2016; Zheng *et al.*, 2024), condição sem a qual mesmo os sistemas mais robustos tendem a perder eficiência com o tempo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou verificar se o Espaço Lar Verde Lar, após anos de funcionamento, mantém desempenho ambiental consistente com as premissas projetuais e com os requisitos da certificação LEED v4. Os resultados obtidos revelam um padrão heterogêneo que, por si só, constitui um dos achados mais relevantes do estudo.

Os sistemas energéticos demonstraram desempenho notável e duradouro. No primeiro ano, o consumo real de 2.318 kWh/ano ficou 17% acima do projetado, mas 78% abaixo do modelo de referência convencional, e a geração fotovoltaica superou o consumo em todos os doze meses, motivando a obtenção da certificação GBC Energy Zero. Nove anos depois, painéis, iluminação LED, sensores e automação seguem em pleno funcionamento sem substituição de componentes, confirmando que as escolhas da dimensão energética foram tecnicamente acertadas e sustentáveis no longo prazo. A eficiência hídrica apresentou resultado parcialmente satisfatório: a captação pluvial opera conforme projetado após nove anos e as estratégias de baixo fluxo reduziram o consumo interno em 51% frente à sede anterior, embora o consumo total no primeiro ano tenha superado o projetado em razão das dificuldades de adaptação da vegetação dos telhados verdes, problema identificado pelo monitoramento contínuo e corrigido ainda no primeiro ano de operação.

O telhado verde foi o componente de menor desempenho ao longo do tempo. Após aproximadamente quatro anos, a vegetação não resistiu ao clima de Governador Valadares e o sistema foi progressivamente desativado, evidenciando a ausência de estudos prévios suficientes sobre espécies adaptadas ao clima tropical seco da região. O agravamento das temperaturas locais também exigiu a instalação de ar-condicionado como complementação ao sistema passivo, adaptação realizada sem obras estruturais, graças à previsão já incorporada ao projeto original, que demonstra a inteligência adaptativa do processo integrativo adotado.

De forma geral, o Espaço Lar Verde Lar atinge os objetivos propostos pela certificação LEED v4, com lacunas de desempenho identificáveis e, em sua maioria, explicáveis. A lacuna energética está dentro dos parâmetros descritos pela literatura. A lacuna hídrica foi parcialmente mitigada pela gestão adaptativa. A deterioração do telhado verde e a necessidade de climatização mecânica refletem, sobretudo, o agravamento das condições climáticas regionais, fator externo ao controle projetual, mas que aponta para a necessidade de incorporar cenários de mudança climática nas simulações de edificações sustentáveis em regiões de clima quente.

A experiência do Lar Verde Lar demonstra que edificações de pequeno porte, localizadas fora dos grandes centros urbanos e construídas com orçamento limitado, podem atingir elevado desempenho ambiental quando sustentadas por processo integrativo rigoroso, gestão comprometida e acompanhamento sistemático dos indicadores ao longo do ciclo de vida. A certificação LEED não representa um ponto de chegada, mas o início de um processo contínuo de monitoramento, adaptação e melhoria. Nesse sentido, recomenda-se ao empreendimento a resolução da infiltração identificada na claraboia, a investigação de espécies vegetais mais adaptadas ao clima local para eventual reativação do telhado verde, e a continuidade das avaliações pós-ocupação periódicas como instrumento de gestão — ações que poderiam ampliar a pontuação do edifício em uma eventual recertificação, especialmente nas categorias de Espaço Sustentável e Qualidade Ambiental Interna.

Como limitação do estudo, destaca-se a ausência de dados quantitativos de consumo referentes ao período posterior ao primeiro ano de operação, o que restringiu a análise entre 2018 e 2026 à dimensão qualitativa, baseada na entrevista com o gestor. Para pesquisas futuras, recomenda-se o desenvolvimento de estudos comparativos entre edificações certificadas LEED v4 em diferentes regiões climáticas brasileiras, investigações sobre espécies vegetais adaptadas a telhados verdes em climas tropicais secos e a institucionalização da Avaliação Pós-Ocupação como instrumento permanente de gestão de edificações sustentáveis certificadas.



REFERÊNCIAS

ALBORZ, N. *et al.* A post occupancy evaluation framework for LEED certified buildings. *Procedia Engineering*, v. 118, p. 522–529, 2015.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *ASHRAE Standard 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: ASHRAE, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). *ASHRAE Standard 90.1-2010: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: ASHRAE, 2010.

ARAÚJO, L. M. C. Construção sustentável: conceitos, práticas e desafios. *Revista Engenharia & Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 15–28, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 2011.

BORDASS, B.; COHEN, R.; FIELD, J. Energy performance of non-domestic buildings: closing the credibility gap. *Building Performance Congress*, Frankfurt, 2004.

BORDASS, B.; LEAMAN, A. Making feedback and post-occupancy evaluation routine. *Building Research & Information*, v. 29, n. 1, p. 45–55, 2001.

CASADO, M. *Green Building Council Brasil: construindo um futuro sustentável*. 2009. Disponível em: http://www.cneg.org/site_antigo/sites/default/files/8%20mesa1-marcos-casado.pdf. Acesso em: 01 out. 2025.

CAVALCANTE, L.; SOUZA, D. Desempenho energético de edifícios LEED no contexto brasileiro: desafios e limitações. *Revista Ambiente Construído*, v. 18, n. 4, p. 7–23, 2018.

CESAR, Júlio. Entrevista concedida a Pablo da Silva Gusmão e Yasmim Constantina Lisboa. Governador Valadares, 08 mai. 2026.

CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Improving construction industry performance: environmental challenges*. Rotterdam: CIB, 2014.

COLE, R. J. Transitioning from green to regenerative design. *Building Research & Information*, v. 40, n. 1, p. 39–53, 2012.

GBC BRASIL – GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. *Guia de Certificação LEED*. São Paulo: GBC Brasil, 2020.

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

GONÇALVES, Micheli; TOSETTO, Vitor. 1 ano de operação do 1º edifício LEED v4 do Brasil. Governador Valadares: LarVerdeLar, jun. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Panorama — Governador Valadares. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/governador-valadares/panorama>. Acesso em: 17 jun. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) — Estação Governador Valadares (A532). Brasília: INMET, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2026.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 41011: Facility management — Vocabulary. Geneva: ISO, 2017.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Desempenho e sustentabilidade na construção civil. São Paulo: O Nome da Rosa, 2019.

KIBERT, C. J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

KIM, J. *et al.* Dynamic Energy Performance Gap Analysis of a University Building. Sustainability, v. 13, n. 1, p. 120, 2021.

KRISS, J. Green Building and LEED Core Concepts Guide. Washington, DC: U.S. Green Building Council, 2014.

LIMA, L. C. N. de; ABRAHÃO, K. C. de F. J. Estudo de caso: residência sustentável sob a ótica dos critérios da certificação GBC Brasil Casa. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

MAHDAVI, A. Ten questions regarding buildings, occupants and the energy performance gap. Building Research & Information, 2024.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MATTHIESSEN, L. F.; MORRIS, P. The cost of green revisited: reteaming in the name of sustainability. Davis Langdon, 2007.

MATTOS, F.; SILVA, A. S. Certificações ambientais e seus desafios no contexto brasileiro. Revista Gestão & Tecnologia, v. 18, n. 3, p. 45–60, 2018.

MIN, C. *et al.* Facilities management added value in closing the energy performance gap. Journal of Facilities Management, v. 14, n. 2, p. 157–175, 2016.

MOURÃO, B. A.; VELOSO, A. C. de O.; SOUZA, R. V. G. de. Análise do conforto térmico em uma edificação certificada com o selo LEED v.4 localizada em Governador Valadares-MG. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC/ELACAC), 2019.

NEWSHAM, G. R. *et al.* Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but.... Energy and Buildings, v. 41, n. 8, p. 897–905, 2009.

OLIVEIRA, J. A. P. de. Desenvolvimento sustentável: desafios e reflexões. São Paulo: Atlas, 2015.

ONO, R. *et al.* Avaliação pós-ocupação: na arquitetura, no urbanismo e no design. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 7 out. 2025.

ORNSTEIN, S. W. Avaliação Pós-Ocupação (APO) do Ambiente Construído. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

PREISER, W. F. E.; VISCHER, J. C. Assessing Building Performance. Oxford: Elsevier, 2005.

RANGEL, J. Primeiro edifício LEED v4 do Brasil utiliza princípios da arquitetura bioclimática. Sustentarqui, 17 mai. 2017.

REVIEW OF COMPREHENSIVE POST-OCCUPANCY EVALUATION FEEDBACK. Buildings, v. 14, n. 9, p. 2892, 2022.

SCOFIELD, J. H. Do LEED-certified buildings save energy? Not really.... Energy and Buildings, v. 146, p. 200–212, 2013.

SILVEIRA, S. F. Uma análise do sistema de certificação LEED no Brasil. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário de Brasília.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. Avaliação de sistemas internacionais de certificação ambiental no contexto brasileiro. Ambiente Construído, v. 8, n. 3, p. 7–26, 2008.

THE POST-OCCUPANCY DILEMMA IN GREEN-RATED BUILDINGS. A performance gap analysis. Journal of Green Building, v. 17, n. 3, p. 259–273, 2025.

TURNER, C.; FRANKEL, M. Energy performance of LEED for New Construction buildings. Vancouver: New Buildings Institute, 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi: UNEP, 2022.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). LEED v4 for Building Design and Construction: Reference Guide. Washington, DC: USGBC, 2013.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). LEED v4 for Building Design and Construction (BD+C) Reference Guide. Washington, DC: USGBC, 2014.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). Leadership in Energy and Environmental Design (LEED): Reference Guide. Washington, D.C.: USGBC, 2020.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). The First LEED v4 Project in Brazil: Espaço LarVerdeLar – Case Study. Washington, DC: USGBC, 2018.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). LEED v4.1 Reference Guide – Building Design and Construction. Washington, DC: USGBC, 2025.

VILLA, S. B.; ORNSTEIN, S. W. Métodos e práticas de Avaliação Pós-Ocupação no Brasil. São Paulo: Edusp, 2013.

WILDE, P. de. The gap between predicted and measured energy performance of buildings: a framework for investigation. *Automation in Construction*, v. 41, p. 40–49, 2014.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL (WGBC). Bringing Embodied Carbon Upfront. London: WGBC, 2019.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

YUDELSON, J. Green building trends: Europe. Washington, DC: Island Press, 2009.

ZHENG, X. *et al.* Post-occupancy performance and long-term sustainability of green buildings: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, v. 446, p. 141–152, 2024.