

O emprego da Inteligência Artificial para a investigação das características técnicas, funcionais e ambientais de edificações

Júlia Martins Carrara

Arquiteta e Urbanista, mestranda do PPG Ambiente Construído
Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
julia.carrara@estudante.ufjf.br
ORCID iD: 0009-0001-4810-1148

Letícia Rabelo dos Santos

Arquiteta e Urbanista, mestranda do PPG Ambiente Construído
Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
leticiarabelodosantos@gmail.com
ORCID iD: 0000-0003-1228-1391

Maria Teresa Gomes Barbosa

Profa. Dra., Depto Construção Civil
Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
teresa.barbosa@ufjf.br
ORCID iD: 0000-0002-3839-5728

Marcos Martins Borges

Prof. Dr., Depto Construção Civil
Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil
marcos.borges.ufjf@gmail.com
ORCID iD: 0000-0003-1415-1734

André Ribeiro de Oliveira

Prof. Dr., Depto Engenharia Industrial
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Escola Superior de Desenho Industrial (ESDI).
andre.ribeiro.uerj@gmail.com
ORCID iD: 0000-0003-2304-8288

O emprego da Inteligência Artificial para a investigação das características técnicas, funcionais e ambientais de edificações

RESUMO

Objetivo - Desenvolver e validar um modelo de Inteligência Artificial para avaliar as características de edificações com base em critérios técnicos e de sustentabilidade, possibilitando o emprego de uma nova ferramenta para o setor da construção civil. **Metodologia** - A pesquisa combinou revisão bibliográfica e treinamento supervisionado do modelo, utilizando a normalização brasileira (NBR 15575 e NBR 9050), as diretrizes do sistema de certificação LEED e a literatura científica. Nesse sentido, foi estruturado um sistema de pontuação (verde, amarelo e vermelho) que foi, inicialmente, testado em 20 projetos e validado por meio de estudo de caso em uma edificação certificada no nível LEED Platinum.

Originalidade/relevância - O estudo integra os parâmetros da normalização brasileira, o sistema certificação internacional (LEED) em um modelo de IA customizado para avaliação automatizada, ampliando o uso da inteligência artificial na construção civil.

Resultados - O modelo apresentou classificações coerentes e alinhadas a ao sistema de certificação empregado, alcançando desempenho máximo no estudo de caso analisado, com precisão e suporte técnico.

Contribuições teóricas/metodológicas - Propõe um modelo replicável que integra IA, desempenho e sustentabilidade nas edificações, estruturando critérios técnicos em um sistema automatizado de avaliação.

Contribuições sociais e ambientais - Contribui para o desenvolvimento de edificações que agregam com maior facilidade os preceitos do desenvolvimento sustentável, reduzindo impactos ambientais e promovendo melhor qualidade de vida aos usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial. Habitabilidade. Sustentabilidade.

The Use of Artificial Intelligence for Habitability Assessment in the Investigation of the Technical, Functional, and Environmental Characteristics of Buildings

ABSTRACT

Objective - To develop and validate an Artificial Intelligence model to assess building characteristics based on technical and sustainability criteria, enabling the use of a new tool for the construction sector.

Methodology - The research combined a literature review and supervised model training, using Brazilian standards (NBR 15575 and NBR 9050), the guidelines of the LEED certification system, and scientific literature. In this context, a scoring system (green, yellow, and red) was structured, initially tested on 20 projects and validated through a case study of a building certified at the LEED Platinum level.

Originality/Relevance - The study integrates Brazilian regulatory parameters and the international certification system (LEED) into a customized AI model for automated assessment, expanding the application of artificial intelligence in the construction industry.

Results - The model presented coherent classifications aligned with the applied certification system, achieving maximum performance in the analyzed case study, with accuracy and technical support.

Theoretical/Methodological Contributions - It proposes a replicable model that integrates AI, performance, and sustainability in buildings, structuring technical criteria into an automated evaluation system.

Social and Environmental Contributions - It contributes to the development of buildings that more effectively incorporate sustainable development principles, reducing environmental impacts and promoting better quality of life for users.

KEYWORDS: Artificial Intelligence. Habitability. Sustainability.

El Uso de la Inteligencia Artificial para la Evaluación de la Habitabilidad en la Investigación de las Características Técnicas, Funcionales y Ambientales de las Edificaciones

RESUMEN

Objetivo - Desarrollar y validar un modelo de Inteligencia Artificial para evaluar las características de edificaciones con base en criterios técnicos y de sostenibilidad, posibilitando el uso de una nueva herramienta para el sector de la construcción.

Metodología - La investigación combinó revisión bibliográfica y entrenamiento supervisado del modelo, utilizando las normas brasileñas (NBR 15575 y NBR 9050), las directrices del sistema de certificación LEED y la literatura científica. En este sentido, se estructuró un sistema de puntuación (verde, amarillo y rojo), inicialmente probado en 20 proyectos y validado mediante un estudio de caso en una edificación certificada en el nivel LEED Platinum.

Originalidad/Relevancia - El estudio integra los parámetros de la normativa brasileña y el sistema de certificación internacional (LEED) en un modelo de IA personalizado para evaluación automatizada, ampliando el uso de la inteligencia artificial en la construcción civil.

Resultados - El modelo presentó clasificaciones coherentes y alineadas con el sistema de certificación aplicado, alcanzando desempeño máximo en el estudio de caso analizado, con precisión y respaldo técnico.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas - Propone un modelo replicable que integra IA, desempeño y sostenibilidad en edificaciones, estructurando criterios técnicos en un sistema automatizado de evaluación.

Contribuciones Sociales y Ambientales - Contribuye al desarrollo de edificaciones que incorporan con mayor facilidad los principios del desarrollo sostenible, reduciendo impactos ambientales y promoviendo una mejor calidad de vida para los usuarios.

PALABRAS CLAVE: Inteligencia Artificial. Habitabilidad. Sostenibilidad.

1. INTRODUÇÃO

No setor da construção civil evidencia-se diversos desafios complexos, como a preocupação pela sustentabilidade e a busca por processos mais eficientes. Nesse contexto, as novas tecnologias tendem a incrementar a produtividade e a confiabilidade, alterando a forma como os projetos das edificações serão criados, executados e mantidos, ou seja, seu desempenho durante a vida útil. Nesse contexto, destacam-se as ferramentas de digitalização e a Inteligência Artificial (IA) (Zhang *et al.*, 2022; Joksimovic *et al.*, 2023).

A utilização da IA como ferramenta para avaliar as características técnicas, funcionais e ambientais das edificações, revela o potencial para fornecer análises de conforto mais precisas e eficientes, integrando variáveis ambientais, espaciais e sociais (Hasan; Alshamrani; Gharaibeh, 2023), possibilitando identificar padrões e oportunidades de melhoria, e, conseqüentemente, reduzindo os custos nas etapas do processo construtivo e os impactos ambientais (Ngarambe; Yun; Santamouris, 2020).

Salienta-se que o desempenho das edificações, isto é, os indicadores relacionados a estanqueidade, conforto (térmico, lumínico, acústico), qualidade do ar interior influenciam significativamente na produtividade e no bem-estar dos usuários sendo requisitos prescritos na normalização brasileira NBR 15575 (ABNT, 2023), sendo, portanto, de extrema importância para o setor da construção civil (Castillo-Cagigal *et al.*, 2011). Para garantir níveis adequados de conforto aos usuários, muitas vezes, torna-se necessário o uso de sistemas mecânicos que incrementam o consumo de energia (Solano *et al.*, 2021). Logo, equilibrar conforto e eficiência energética se torna um desafio constante do setor (Fanger; Toftum, 2011).

A relevância deste estudo é evidenciada pelo fato de que as pessoas passam aproximadamente 80–90% do tempo diário em ambientes internos (Yang; Yan; Lam, 2014). Além disso, é fundamental considerar as mudanças climáticas em curso, principalmente o aumento das temperaturas e as alterações nos padrões de precipitação (Curado *et al.*, 2023; Vitiello; Castelluccio; Merino, 2020), que modificam os padrões mínimos de conforto nas edificações e podem representar riscos à saúde dos usuários (Liu, 2024).

Diante do exposto, essa pesquisa está estruturada em três etapas: a primeira, apresenta os conceitos de IA e de modelos personalizados do ChatGPT e suas aplicações; a segunda descreve a metodologia de desenvolvimento do modelo de IA e o estudo de caso; e a terceira apresenta as considerações finais.

Os testes realizados com o Chat modelo GPT-4.o desempenharam papel fundamental na validação do treinamento do modelo, demonstrando seu potencial de avaliação de forma coerente a habitabilidade das edificações, gerar classificações alinhadas às normas técnicas e diretrizes regulatórias e contribuir para a otimização dos processos de avaliação e planejamento das construções.

1.1. OBJETIVOS

Dessa forma, o principal objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo de IA para avaliar a características técnicas, funcionais e ambientais das edificações, visando aprimorar a qualidade e a eficiência dos projetos. A motivação do estudo está relacionada à promoção da sustentabilidade no setor da construção por meio do uso de ferramentas inovadoras capazes de garantir edificações mais eficientes e confortáveis.

2. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) E CHATGPT PERSONALIZADO

A Inteligência Artificial (IA) constitui um campo da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de algoritmos capazes de analisar e resolver problemas, auxiliando nos processos de tomada de decisão (Lobo, 2018). O ChatGPT é uma ferramenta de IA desenvolvida pela OpenAI, projetada para interpretar instruções fornecidas por meio de prompts e fornecer respostas detalhadas e contextualizadas (OpenAI, 2024). A versão de 2024, Chat modelo GPT-4.o, apresenta avanços significativos, incluindo a possibilidade de personalização do modelo para atender a diferentes demandas e especificidades dos usuários (Huang *et al.*, 2024).

Na literatura, pesquisas recentes exploram a aplicação da IA em diversas áreas. No setor da saúde, por exemplo, a IA é utilizada para diagnósticos radiológicos, detecção de anomalias, segmentação de imagens e apoio à tomada de decisões clínicas (Inoue; Félix; Gouveia, 2024; Ragazzo; Tolentino; Cataldo, 2023). Estudos também destacam que a IA aprimora a atuação de bancos centrais ao auxiliar na detecção de transações ilegais e na otimização das operações diárias, demonstrando sua relevância no sistema financeiro. No setor agrícola, a IA tem sido aplicada por meio de novos métodos automatizados de análise do solo que, segundo (Segovia; Rojas; Quishpe, 2021), contribuem para o manejo de culturas, controle de pragas e aumento da produtividade.

No âmbito da construção civil, Prieto, Mengiste, de Soto (2023) exploram o ChatGPT para gerar o cronograma de uma edificação simples, obtendo interação satisfatória e evidenciando o potencial da ferramenta para automatizar tarefas preliminares e frequentemente demoradas. De acordo com Aluga (2023), o ChatGPT pode atuar como ferramenta de apoio a profissionais, aumentando a eficiência, fornecendo orientações e complementando os processos de tomada de decisão tanto em campo quanto no desenvolvimento de projetos.

Além disso, a integração da IA em fluxos de trabalho permite não apenas otimizar tarefas repetitivas, mas também gerar insights estratégicos a partir da análise de grandes volumes de dados. Ferramentas como o ChatGPT possibilitam identificar padrões, antecipar problemas e propor soluções de forma proativa, ampliando a capacidade de planejamento e tomada de decisão. Essa aplicabilidade reforça o papel da IA como um recurso transformador, capaz de aumentar a produtividade, reduzir erros humanos e aprimorar a qualidade de processos em diferentes setores (Hao; Wang; Chenc, 2024).

3. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Esta pesquisa aborda a aplicação da Inteligência Artificial na avaliação da habitabilidade de edificações, integrando métodos qualitativos, baseados em análise teórica, e quantitativos, fundamentados no processamento dos dados coletados.

3.1. Definição dos Critérios

O modelo foi desenvolvido com o objetivo de aprimorar a eficiência das avaliações de características técnicas, funcionais e ambientais em edificações, por meio de respostas precisas, coerentes e bem estruturadas, aperfeiçoando a capacidade da plataforma de atribuir pontuações e apresentar justificativas consistentes.

Para atingir esse objetivo, os critérios de avaliação e os fatores relevantes foram apresentados e devidamente caracterizados, com base na Norma Brasileira NBR 15575 (ABNT, 2021), conhecida como Norma de Desempenho, e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) define os requisitos mínimos de desempenho que os sistemas construtivos (como estrutura, vedações, coberturas e pisos) devem atender ao longo da vida útil prevista da edificação. No que se refere à habitabilidade, a norma estabelece exigências relacionadas aos seguintes aspectos: estanqueidade à água; conforto térmico; conforto acústico; iluminação natural; ventilação; e saúde, higiene e qualidade do ar.

Alinhados ao foco desta pesquisa, os ODS que fundamentaram a definição dos critérios de avaliação do modelo foram: (9) Indústria, Inovação e Infraestrutura; (11) Cidades e Comunidades Sustentáveis; (12) Consumo e Produção Responsáveis; e (13) Ação Contra a Mudança Global do Clima (GT Agenda 2030, 2020).

Dessa forma, os critérios foram definidos com base nesses dois referenciais conforme descrito a seguir:

- Conforto Térmico:
 - Favorável: ventilação cruzada, boa orientação solar, isolamento térmico eficiente, materiais com alta inércia térmica, sistemas passivos de resfriamento (como brises, coberturas verdes e fachadas ventiladas).
 - Desfavorável: superaquecimento devido à orientação solar inadequada, baixa eficiência térmica dos materiais, uso excessivo de ar-condicionado, ausência de sombreamento nas aberturas.
- Qualidade do Ar:
 - Favorável: ventilação natural eficiente, materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COV), sistemas de filtragem do ar, presença de plantas no ambiente interno.
 - Desfavorável: materiais sintéticos com alta emissão de poluentes, baixa renovação do ar, ambientes fechados dependentes de ventilação mecânica.
- Eficiência Energética:
 - Favorável: uso de fontes de energia renováveis (solar, eólica), iluminação LED, sensores de presença, fachadas inteligentes.
 - Desfavorável: uso excessivo de iluminação artificial, ausência de isolamento térmico, dependência total da rede elétrica convencional.
- Acessibilidade:
 - Favorável: rampas e elevadores, portas e corredores amplos, sanitários adaptados.
 - Desfavorável: inacessibilidade para cadeirantes e idosos, superfícies irregulares sem rampas, ausência de sinalização para pessoas com deficiência visual.

- **Uso de Materiais Sustentáveis:**
 - Favorável: materiais recicláveis ou de baixo impacto ambiental, tintas à base de água, preferência por materiais de origem local.
 - Desfavorável: uso intensivo de concreto sem alternativas sustentáveis, materiais de alto impacto ambiental (PVC, aço não certificado), ausência de reaproveitamento de resíduos.
- **Gestão da Água:**
 - Favorável: sistemas de captação e reuso de água da chuva, sistemas de reuso de águas cinzas, dispositivos economizadores (torneiras e bacias sanitárias eficientes).
 - Desfavorável: alto consumo de água potável sem sistemas de reuso, ausência de captação de água pluvial, irrigação convencional intensiva.
- **Biodiversidade e Impacto Ambiental:**
 - Favorável: áreas verdes preservadas ou integradas ao projeto, coberturas verdes, jardins verticais, minimização da impermeabilização do solo.
 - Desfavorável: elevada remoção de vegetação nativa, altos níveis de impermeabilização do solo, ausência de áreas verdes ou medidas de compensação ambiental.
- **Pegada de Carbono:**
 - Favorável: materiais de baixo carbono (madeira certificada, tijolos ecológicos), uso de energia renovável, métodos construtivos sustentáveis.
 - Desfavorável: materiais com alta emissão (cimento, aço convencional), dependência de combustíveis fósseis, ausência de estratégias de descarbonização.

3.2. Definição de Padrões e Pontuação

No procedimento de análise adotou-se para cada critério uma pontuação com base nas cores verde, amarelo e vermelho. Cada cor representa um nível de avaliação: verde (peso 3) para ações favoráveis à habitabilidade; amarelo (peso 2) para ações moderadas, que atendem parcialmente ao conceito de sustentabilidade; e vermelho (peso 1) para ações desfavoráveis (Carrara *et al.*, 2025).

A pontuação final corresponde à média aritmética simples dos pesos atribuídos, sendo utilizada para classificar o resultado em três faixas: verde, amarelo e vermelho (ver Equação 1).

$$Pontuação\ Final = \frac{\sum Pontos}{8}$$

A classificação da pontuação final baseia-se na lógica e na estrutura das principais metodologias nacionais e internacionais de avaliação da sustentabilidade e do desempenho de edificações, garantindo coerência e validade técnica aos resultados obtidos: a certificação LEED (LEED, 2023) e a Norma Brasileira NBR 15575 (ABNT, 2021).

A certificação LEED classifica as edificações em quatro categorias: Certificado: 40–49 pontos (40%–49%); Prata: 50–59 pontos (50%–59%); Ouro: 60–79 pontos (60%–79%); e Platina:

80–110 pontos (acima de 80%). Já a NBR 15575 (ABNT, 2021) classifica os níveis de desempenho em três categorias: Mínimo - nível mais baixo aceitável para atendimento à norma; Intermediário - desempenho superior ao mínimo, oferecendo condições adicionais de qualidade; e superior- elevado nível de desempenho, com alta qualidade e conforto para os usuários.

Dessa forma, ao adaptar os modelos de classificação do LEED e da NBR 15575 (ABNT, 2021) ao contexto de classificação por cores adotado no modelo, os intervalos de desempenho foram definidos seguindo a mesma lógica e estrutura, organizados em três níveis finais:

- **Favorável** → $2,5 < \text{pontuação} \leq 3,0$ (aproximadamente $\geq 83\%$)
- **Moderado** → $1,75 < \text{pontuação} \leq 2,49$ (aproximadamente 58%–83%)
- **Desfavorável** → $0 < \text{pontuação} \leq 1,75$ (abaixo de aproximadamente 58%)

3.3. Inserção de Dados no Modelo

O modelo foi concebido para aumentar a eficiência na avaliação das características estudadas das edificações, oferecendo respostas precisas, consistentes e bem estruturadas, além de aprimorar a capacidade de gerar pontuações e justificativas fundamentadas. Para tanto, os critérios de análise e os fatores relevantes foram cuidadosamente definidos e caracterizados, baseado na Norma Brasileira NBR 15575 (ABNT, 2021), e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

A NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece os níveis mínimos de desempenho que os sistemas construtivos, como estruturas, coberturas, pisos e vedações, devem atender ao longo da vida útil prevista da edificação, bem como prescreve exigências relacionadas a conforto térmico, acústico e luminoso, ventilação, estanqueidade à água, além de aspectos de saúde, higiene e qualidade do ar.

O treinamento do modelo começou com a introdução das informações essenciais sobre definição, objetivos e critérios de avaliação, seguido de uma fase inicial em que a IA assimilou os conceitos, as definições e as características de cada fator de análise.

Em seguida, foi realizado o teste inicial, com o objetivo de validar a capacidade do modelo de aplicar os critérios de habitabilidade e sustentabilidade de forma confiável. Nessa etapa, o sistema foi treinado para analisar aspectos como conforto térmico, qualidade do ar, eficiência energética, acessibilidade, uso de materiais sustentáveis, gestão da água, biodiversidade e impactos ambientais. Foram disponibilizados 20 projetos completos, contendo imagens, desenhos técnicos, memoriais descritivos e informações de localização. O modelo atribuiu pontuações e gerou relatórios individuais, que depois foram comparados com avaliações de referência.

A análise dos resultados permitiu medir a acurácia do modelo, identificando divergências entre os valores gerados e os esperados, além de erros e desvios recorrentes. Essas informações orientaram ajustes e aprimoramentos no Teste 02, incluindo melhorias na interpretação de diferentes tipologias arquitetônicas.

O método de aprendizagem supervisionada foi adotado durante o treinamento: inicialmente, os dados rotulados foram ocultados para testar a capacidade de classificação

autônoma do modelo. Posteriormente, os resultados foram revisados e validados pelos autores, promovendo um aprimoramento contínuo do sistema. Todo o processo incorporou uma perspectiva crítica alinhada às práticas profissionais que assegurem requisitos de sustentabilidade ao objeto em estudo, garantindo avaliações tecnicamente rigorosas e relevantes para a prática.

Por fim, foram elaboradas recomendações específicas para cada projeto analisado, com foco na melhoria da habitabilidade e da sustentabilidade. Tais recomendações estão alinhadas às melhores práticas do setor e fundamentadas nos resultados quantitativos obtidos ao longo do processo de avaliação.

4. ESTUDO DE CASO

No Brasil, a Galeria Laguna (ver Figura 1), localizada na cidade de Curitiba, destaca-se por suas características de sustentabilidade e pelo reconhecimento internacional em certificações ambientais (Archdaily, 2023). O edifício foi projetado com foco na eficiência energética, na gestão de recursos e na qualidade ambiental, conquistando a certificação LEED Platinum com a maior pontuação já obtida na história do US Green Building Council (103 pontos), o que lhe confere o título de empreendimento mais sustentável do mundo¹ (Construtora Laguna, 2023).

O projeto foi concebido desde o início para reduzir ao máximo o consumo de energia e água e promover o bem-estar dos usuários. A implantação de sistemas que integram desempenho ambiental e inovação tecnológica reflete o compromisso com práticas sustentáveis ao longo de toda a edificação (Archdaily, 2023).

Entre as principais estratégias de sustentabilidade adotadas destacam-se: a geração de 100% da energia necessária por meio de painéis fotovoltaicos instalados no telhado, produzindo cerca de 50 mil kWh por ano; o uso de sistemas de iluminação LED com aproveitamento de iluminação natural, que acionam luz artificial apenas quando necessário; sistemas de climatização VRF integrados à automação para eficiência energética; e monitoramento e renovação automática do ar, que garante a qualidade do ambiente interno (Construtora Laguna, 2023).

No que diz respeito à gestão de recursos hídricos, a Galeria Laguna utiliza um sistema de captação e potabilização de água da chuva que atende 100% da demanda do edifício, tornando-se autossuficiente em água e gerando economia operacional (Archdaily 2023).

¹ Segundo a certificação do US Green Building Council.

Figura 1 – Galeria Laguna



Fonte: Archdaily (2023).

Assim, considerando que a edificação já atende a um conjunto de critérios estabelecidos pela certificação LEED, a avaliação foi realizada utilizando o modelo de IA.

4.1. Avaliação

O estudo de caso corresponde ao edifício Galeria Laguna, localizado em Curitiba, Brasil, projetado pelo escritório Estúdio 41 e desenvolvido pela Construtora Laguna, selecionado em razão de sua ampla documentação técnica e reconhecimento por certificações ambientais internacionais.

O procedimento metodológico iniciou-se com a inserção sistemática de informações provenientes de múltiplas fontes documentais, incluindo descrições arquitetônicas, dados construtivos, especificações de materiais, registros visuais, relatórios institucionais, memoriais descritivos e informações técnicas divulgadas por entidades certificadoras e publicações especializadas. A utilização de diferentes origens informacionais permitiu a triangulação de dados, estratégia adotada para reduzir inconsistências, ampliar a confiabilidade analítica e assegurar maior precisão interpretativa pelo sistema.

Quadro 1 - Pontuações dos Critérios com Base no Modelo de Inteligência Artificial

Critérios	Favorável	Moderado	Adverso
Conforto térmico	■		
Qualidade do ar	■		
Eficiência energética	■		
Acessibilidade		■	
Uso de materiais sustentáveis		■	
Gestão da água	■		
Biodiversidade e impacto ambiental		■	
Pegada de carbono	■		

Fonte: Autores (2026).

A análise conduzida pelo modelo concentrou-se na verificação sistemática de oito dimensões de desempenho relacionadas às características técnicas, funcionais e ambientais: Conforto térmico, qualidade do ar, eficiência energética, acessibilidade, uso de materiais, gestão hídrica, impacto ambiental e pegada de carbono.

Para cada dimensão, o sistema examinou as evidências enviadas e as correlacionou com parâmetros técnicos e normativos previamente incorporados à sua base de referência. O processamento resultou na atribuição de notas individuais que refletem o grau de aderência do edifício aos critérios estabelecidos, considerando simultaneamente aspectos positivos identificados e limitações técnicas observadas.

Os resultados indicaram desempenho elevado na maior parte dos critérios analisados, com destaque para eficiência energética, gestão da água e conforto térmico, dimensões nas quais o edifício apresentou evidências consistentes de soluções tecnológicas e estratégias projetuais alinhadas a padrões internacionais de sustentabilidade. A qualidade do ar e a pegada de carbono também obtiveram avaliações altas, ainda que com pequenas restrições associadas à materialidade construtiva e à dependência de sistemas ativos. Já os critérios de acessibilidade, materiais sustentáveis e impacto ambiental apresentaram desempenho intermediário, sobretudo em função da ausência de documentação detalhada sobre determinados requisitos e da presença de materiais com maior carga ambiental incorporada.

A síntese quantitativa das avaliações resultou em nota final global equivalente a 9,0 em escala de 0 a 10, classificação correspondente ao nível de desempenho elevado. Esse resultado posiciona a edificação como exemplo de alto padrão ambiental e confirma a coerência entre os dados técnicos disponibilizados e o diagnóstico automatizado produzido pelo modelo. Observou-se que as limitações identificadas se concentram principalmente em aspectos relacionados ao ciclo de vida dos materiais e ao impacto ambiental indireto, não comprometendo, contudo, o desempenho operacional do edifício.

Além da pontuação, o sistema gerou recomendações projetuais destinadas ao aprimoramento das dimensões com menor desempenho relativo, incluindo estratégias de redução de carbono incorporado, ampliação de soluções baseadas em natureza e otimização da seleção de materiais. Essas proposições demonstram a capacidade interpretativa do modelo, que não se restringe à classificação, mas também fornece suporte analítico para tomada de decisão e melhoria de projetos. Em conjunto, os resultados evidenciam a aplicabilidade da ferramenta como instrumento de avaliação técnica assistida, apto a produzir diagnósticos consistentes e comparáveis no contexto da análise de desempenho ambiental de edificações.

No caso da Galeria Laguna, os resultados indicaram desempenho máximo na avaliação global de sustentabilidade, com pontuação final de 3,0 em escala de 0 a 3, correspondente ao nível mais elevado de classificação do sistema. O relatório aponta que o conforto térmico constitui um dos principais destaques, atribuído à fachada de alto desempenho associada ao aproveitamento extensivo de iluminação natural, estratégia que reduz cargas térmicas e demanda energética sem evidenciar fatores negativos. A qualidade do ar interno também apresentou avaliação superior, favorecida pela presença de vegetação integrada, ventilação eficiente e especificação de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis.

A dimensão energética obteve resultado igualmente expressivo, impulsionado pela incorporação de sistemas fotovoltaicos responsáveis por 24,12% do suprimento energético e pelo emprego generalizado de iluminação LED, configurando redução de 50,27% no consumo

em comparação com edificações equivalentes. Quanto à acessibilidade, verificou-se conformidade com os parâmetros estabelecidos pela NBR 9050 e pelo sistema LEED, evidenciando soluções de circulação inclusiva e dimensionamento adequado dos espaços. O uso de materiais sustentáveis também apresentou desempenho elevado, sustentado pela reciclagem de 94,6% dos resíduos gerados durante a construção e pela durabilidade estrutural do edifício, fatores que contribuem para a redução de impactos ao longo do ciclo de vida.

No que se refere à gestão hídrica, o modelo identificou estratégias eficazes de captação e reuso de águas pluviais e cinzas, resultando em economia de 47% no consumo de água potável. A análise da dimensão ecológica indicou integração qualificada de áreas verdes com espécies nativas e adoção de práticas responsáveis de manejo ambiental. De modo complementar, a pegada de carbono foi classificada como reduzida, sobretudo em razão da utilização de energia renovável e de estratégias operacionais voltadas à eficiência. Como aprimoramentos potenciais, o sistema sugeriu a implementação de painéis de monitoramento ambiental, programas educativos institucionais, obtenção de certificações adicionais, como WELL e EDGE, e divulgação pública do inventário de carbono operacional.

Em síntese, o conjunto das avaliações confirma a consistência entre os dados técnicos disponíveis e o diagnóstico automatizado, demonstrando que as limitações identificadas se concentram em aspectos pontuais e não comprometem o desempenho geral. A certificação LEED Platinum obtida pela edificação reforça empiricamente essa interpretação, corroborando a classificação final elevada e evidenciando alto grau de compromisso com estratégias ambientais integradas, eficiência de recursos e qualidade do ambiente construído.

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como propósito desenvolver e treinar um modelo de Inteligência Artificial destinado à avaliação das características técnicas, funcionais e ambientais de edificações, estruturado a partir de critérios e parâmetros de sustentabilidade consolidados na literatura e em normativas especializadas. Os resultados obtidos demonstram que o sistema proposto constitui uma ferramenta analítica robusta e inovadora, capaz de complementar metodologias tradicionais de avaliação no setor da construção civil, fortalecendo processos decisórios e ampliando a precisão diagnóstica de análises de desempenho ambiental e de conforto.

Os testes realizados evidenciaram que o modelo apresenta elevada coerência interpretativa, sendo capaz de correlacionar dados técnicos, atribuir classificações consistentes e fornecer justificativas fundamentadas para cada critério analisado. Tal desempenho confirma a validade metodológica da abordagem e indica que a utilização de IA aplicada à análise de edificações pode contribuir significativamente para a padronização e confiabilidade de avaliações técnicas, reduzindo subjetividades e otimizando o tempo de análise de projetos.

Destaca-se ainda a capacidade do sistema de gerar recomendações específicas de aprimoramento com base nas características de cada edificação examinada. Esse recurso amplia o potencial prático da ferramenta, transformando-a não apenas em um instrumento classificatório, mas também em um suporte estratégico para profissionais da construção civil, ao orientar intervenções que favoreçam a eficiência operacional, a redução de impactos ambientais e a melhoria da qualidade ambiental interna dos espaços construídos.

Os achados confirmam, portanto, o papel emergente da Inteligência Artificial como agente transformador no campo da arquitetura e da construção, especialmente no que se refere à automação de processos analíticos complexos e à integração de múltiplas variáveis de desempenho. Ao sistematizar critérios técnicos em uma estrutura automatizada e replicável, o modelo proposto demonstra potencial para ampliar o alcance das avaliações de habitabilidade e sustentabilidade, contribuindo para o desenvolvimento de edificações mais resilientes, eficientes e alinhadas às demandas contemporâneas do ambiente construído.

Como perspectivas futuras, recomenda-se a ampliação da base de dados utilizada no treinamento, de modo a incorporar maior diversidade tipológica, climática e regional, bem como o refinamento do sistema de pontuação mediante a definição de parâmetros quantitativos mais específicos para cada indicador. Sugere-se, ainda, a integração do modelo a plataformas digitais de projeto e gestão de edificações, o que poderá expandir sua aplicabilidade profissional e consolidar sua utilização como ferramenta de apoio técnico em diferentes etapas do ciclo de vida das construções.

AGRADECIMENTOS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

FAPEMIG (BDT-0007/25) – Fundação de Amparo do Estado de Minas Gerais.

UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora

6. REFERÊNCIAS

ALUGA, M. Application of ChatGPT in civil engineering. **East African Journal of Engineering**, v. 6, n. 1, p. 104–112, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.37284/eaje.6.1.1272>. Acesso em: 24 fev. 2026.

ARCHDAILY. Galeria Laguna / Estúdio 41. ArchDaily Brasil, 5 ago. 2023. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1004304/galeria-laguna-estudio-41>. Acesso em: 20 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575:2021: edificações habitacionais — desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

CARRARA, J. M.; SANTOS, L. R. D.; BORGES, M. M.; BARBOSA, M. T. G.; OLIVEIRA, A. R. D. Investigation of the technical feasibility of the use of Artificial Intelligence in the Evaluation of the Habitability of Buildings. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1536, art. 012015, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1536/1/012015>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1536/1/012015>. Acesso em: 25 fev. 2026.

CASTILLO-CAGIGAL, M. et al. PV self-consumption optimization with storage and active DSM for the residential sector. **Solar Energy**, v. 85, n. 9, p. 2338–2348, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.028>. Acesso em: 22 fev. 2026.

CONSTRUTORA LAGUNA. Galeria Laguna conquista a maior pontuação de sustentabilidade do mundo. Blog Construtora Laguna, 9 jun. 2023. Disponível em: <https://blog.construtoralaguna.com.br/construtora/construtora-laguna/galeria-laguna-conquista-a-maior-pontuacao-de-sustentabilidade-do-mundo/>. Acesso em: 20 fev. 2026.

CURADO, L. F. A. et al. Trends and patterns of daily maximum, minimum and mean temperature in Brazil from 2000 to 2020. **Climate**, v. 11, n. 8, art. 168, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli11080168>. Acesso em: 22 fev. 2026.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 533–536, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00003-8). Acesso em: 22 fev. 2026.

GT AGENDA 2030. ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/ods/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

HAO, H.; WANG, Y.; CHEN, J. Empowering scenario planning with artificial intelligence: a perspective on building smart and resilient cities. **Engineering**, v. 43, p. 272–283, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.06.012>. Acesso em: 21 fev. 2026.

HASAN, M. H.; ALSHAMRANI, O. S.; GHARAIBEH, E. S. Patented AI tool and method for evaluating building quality — analysis of indoor environment and human comfort: a case study. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 16, n. 12, art. 103756, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103756>. Acesso em: 21 fev. 2026.

HUANG, Y. et al. Evaluating ChatGPT-4.0's data analytic proficiency in epidemiological studies: a comparative analysis with SAS, SPSS, and R. **Journal of Global Health**, v. 14, art. 04070, 2024. Disponível em: <https://jogh.org/2024/jogh-14-04070>. Acesso em: 24 fev. 2026.

INOUE, M. M.; FÉLIX, V. T.; GOUVEIA, C. A. Application of AI in radiological diagnosis. *Ibero-American Journal of Humanities, Sciences and Education*, v. 10, n. 11, p. 7870–7876, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i11.17344>. Acesso em: 24 fev. 2026

JOKSIMOVIC, S. et al. Opportunities of artificial intelligence for supporting complex problem-solving: findings from a scoping review. **Computers and Education: Artificial Intelligence**, v. 4, art. 100138, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100138>. Acesso em: 20 fev. 2026.

LIU, G. et al. Indoor thermal environment and human health: a systematic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 191, p. 114164, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114164>. Acesso em: 21 fev. 2026.

LOBO, L. C. Artificial intelligence, the future of medicine, and medical education. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 42, n. 3, p. 3–8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-52712015V42N3RB20180115EDITORIAL1>. Acesso em: 24 fev. 2026.

NGARAMBE, J.; YUN, G. Y.; SANTAMOURIS, M. The use of artificial intelligence methods in the prediction of thermal comfort in buildings: energy implications of AI-based thermal comfort controls. **Energy and Buildings**, v. 211, art. 109807, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109807>. Acesso em: 21 fev. 2026.

OPENAI. ChatGPT. 2024. Disponível em: <https://openai.com/index/chatgpt/>. Acesso em: 24 fev. 2026

PRIETO, S. A.; MENGISTE, E. T.; DE SOTO, B. G. Investigating the use of ChatGPT for scheduling construction projects. **Buildings**, v. 13, n. 4, art. 857, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings13040857>. Acesso em: 24 fev. 2026.

RAGAZZO, C.; TOLENTINO, M.; CATALDO, B. Artificial intelligence: what is it and how does finance use it? **Social Science Research Network**, p. 1–20, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4579348>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SEGOVIA, J. S. B.; ROJAS, F. A. D.; QUISHPE, M. W. V. Study on the use of artificial intelligence techniques applied to soil analysis for the agricultural sector. **RECIMUNDO**, v. 5, n. 1, p. 4–19, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/5.\(1\).ENERO.2021.4-19](https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/5.(1).ENERO.2021.4-19). Acesso em: 24 fev. 2026.

SOLANO, J. C. et al. HVAC systems and thermal comfort in buildings climate control: an experimental case study. **Energy Reports**, v. 7, supl. 3, p. 269–277, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.045>. Acesso em: 20 fev. 2026.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED): reference guide for building design and construction. Washington, DC, 2023.

VITIELLO, S.; CASTELLUCCIO, S.; MERINO, C. Urban heat and vulnerable populations: a systematic review. **Environment International**, v. 244, art. 118107, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118107>. Acesso em: 24 fev. 2026.

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications — a review. **Applied Energy**, v. 115, p. 164–173, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>. Acesso em: 23 fev. 2026.

ZHANG, F. et al. Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry. **Automation in Construction**, v. 139, art. 104289, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104289>. Acesso em: 21 fev. 2026.