

Aplicação de Tecnologias da Informação e Comunicação às Certificações Ambientais na Construção Civil Brasileira.

SESSÃO TEMÁTICA: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DA PAISAGEM (ET6)

Nicolly Gonçalves da Silveira Santos
Universidade Federal do Rio de Janeiro
E-mail: nicoly.silveira@fau.ufrj.br

Beatriz Carreiro Mendes de Jesus
Universidade Federal do Rio de Janeiro
E-mail: beatriz.jesus@fau.ufrj.br

Beatriz Moon
Universidade Federal do Rio de Janeiro
E-mail: beatriz.moon@fau.ufrj.br

Lucas Rosse Caldas
Universidade Federal do Rio de Janeiro
E-mail: lucas.caldas@fau.ufrj.br

RESUMO

A crescente preocupação com os impactos ambientais da construção civil tem impulsionado a adoção de certificações ambientais como instrumentos de promoção de práticas sustentáveis. No contexto brasileiro, entretanto, a incorporação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) nesses sistemas ainda ocorre de forma desigual. Este artigo investigou como as certificações AQUA-HQE, LEED e Selo Casa Azul integraram ferramentas digitais ao processo de certificação, considerando seus efeitos na edificação e na paisagem urbana. A pesquisa adota abordagem analítico-crítica, estruturada em revisão de literatura, análise documental dos manuais técnicos e construção de matriz correlacional entre TICs e categorias avaliativas (água, conforto, energia e materiais). Os resultados indicam que softwares de simulação e Building Information Modeling (BIM) possuem caráter transversal, enquanto ferramentas como Análise de Ciclo de Vida (ACV) e Passaporte de Materiais apresentam aplicação mais específica. Observa-se que a incorporação das TICs não ocorre de forma sistêmica, sendo condicionada pelos instrumentos de cada certificação. Essa limitação reduz a eficiência dos processos e seu potencial de atuação sobre a paisagem. Conclui-se que a integração das TICs ao longo do ciclo de vida das edificações constitui um desafio central para o aprimoramento das certificações no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura Sustentável; Certificações Ambientais; Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs); Construção Civil; Paisagem Urbana.

ABSTRACT

Growing concern over the environmental impacts of the construction sector has driven the adoption of environmental certifications as instruments to promote sustainable practices. In the Brazilian context, however, the integration of Information and Communication Technologies (ICTs) into these systems remains uneven. This article investigates how AQUA-HQE, LEED, and Selo Casa Azul certifications incorporate digital tools into the certification process, considering their effects on both buildings and the urban landscape. The research adopts an analytical–critical approach, based on literature review, documentary analysis of technical manuals, and the development of a correlational matrix between ICTs and evaluation categories (water, comfort, energy, and materials). The results indicate that simulation software and Building Information Modeling (BIM) have a transversal role, while tools such as Life Cycle Assessment (LCA) and Material Passports show more specific applications. It is observed that ICT integration does not occur systemically, being conditioned by the operational frameworks of each certification. This limitation reduces both process efficiency and the potential to address landscape-related aspects. It is concluded that integrating ICTs throughout the building life cycle remains a key challenge for improving environmental certifications in Brazil.

KEYWORDS: Sustainable Architecture; Information and Communication Technologies (ICTs); Environmental Certifications; Construction Industry; Urban Landscape.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve um aumento na preocupação com os impactos ambientais gerados pela urbanização ocorrida em larga escala em todo o mundo. Este cenário impulsiona diferentes organismos dentro da sociedade a buscar práticas que gerem menos resíduos e soluções sustentáveis capazes de otimizar processos, reduzir custos e minimizar danos ao meio ambiente (UN-Habit, 2020).

A partir da análise das projeções de expansão urbana e do percurso de crescimento das cidades, destaca-se a necessidade de estabelecer um equilíbrio entre o ambiente natural e o construído. É imprescindível garantir uma relação harmoniosa entre ambos, pois a ausência desse equilíbrio compromete a viabilidade do desenvolvimento sustentável. As cidades atuam como organismos vivos capazes de promover qualidade de vida aos seus usuários, mas somente se extraírem recursos do meio ambiente de forma consciente.

Para alcançar essa integração, torna-se fundamental articular o desenvolvimento urbano ao atual avanço tecnológico. O uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) pode facilitar o planejamento, a gestão e a execução de práticas ambientais responsáveis, permitindo uma visão mais ampla de cada processo (Lima, Freitas, Azerêdo, 2021). Quando combinadas com políticas de incentivo à sustentabilidade, essas estratégias potencializam a viabilidade de um caminho rumo à concepção de cidades mais eficientes e de baixo impacto ambiental.

Sob essa perspectiva, o setor da construção civil exemplifica como é possível articular planejamento urbano, tecnologias digitais e políticas voltadas à sustentabilidade. Nos últimos anos, o setor foi instigado a incorporar práticas sustentáveis capazes de mitigar impactos ambientais, otimizar recursos e melhorar a qualidade de vida nos espaços edificados. Assim, certificações ambientais como AQUA-HQE, LEED e Casa Azul nascem como instrumentos essenciais para calcular, padronizar e incentivar o desempenho sustentável de edificações e conjuntos urbanos. Essas certificações contemplam critérios que vão desde a gestão da obra e eficiência no uso de recursos até impactos ambientais e sociais, propondo parâmetros de qualidade e inovação no ambiente construído.

No contexto brasileiro, a adoção dessas certificações enfrenta desafios relacionados à adaptação de parâmetros internacionais às realidades locais, à capacitação técnica e à disponibilidade de dados precisos para tomada de decisão. Nesse cenário, tecnologias como simulações computacionais, Building Information Modeling (BIM), passaporte de materiais, análise de ciclo de vida (ACV), internet das coisas (IoT), sensores inteligentes, gêmeos digitais e dispositivos de monitoramento oferecem não apenas precisão e agilidade, mas também a possibilidade de prever e otimizar resultados antes mesmo da materialização física da obra.

A utilização dessas tecnologias possibilita avaliar o desempenho energético e ambiental de edificações de forma mais abrangente e confiável, além de facilitar a verificação de conformidade com os requisitos normativos estabelecidos pelas certificações. Ao permitir simulações prévias e ajustes em tempo real, tais tecnologias contribuem para reduzir custos, minimizar retrabalhos e aumentar a probabilidade de obtenção de selos de sustentabilidade. Assim, a integração entre certificações ambientais e recursos digitais representa não apenas um avanço tecnológico, mas também uma oportunidade para tornar o processo construtivo mais eficiente, sustentável e competitivo no mercado.

A incorporação de TICs associadas às certificações ambientais reconfigura a forma como a paisagem urbana é analisada e qualificada, o que está diretamente relacionado a aspectos como o microclima urbano, o conforto térmico em espaços abertos, a gestão de águas pluviais e a qualidade das interfaces entre edifício e espaço público. Dessa forma, amplia-se a compreensão da sustentabilidade para além da edificação isolada, incorporando sua relação com o ambiente urbano.

Contudo, apesar desses avanços, ainda não está claro em que medida as certificações ambientais integram efetivamente as ferramentas digitais em seus processos de avaliação e conformidade, constituindo o problema central desta pesquisa. Diante desse panorama, este estudo propõe-se a investigar como as principais certificadoras no Brasil incorporam o uso de ferramentas digitais no processo de certificação ambiental. Busca-se realizar uma análise crítica que evidencie avanços já alcançados, lacunas existentes e oportunidades de aprimoramento, delimitando o foco na realidade brasileira e contribuindo para a compreensão do papel estratégico das TICs no fortalecimento das práticas sustentáveis no ambiente construído. Assim, este trabalho pretende oferecer contribuição científica, ao preencher lacunas ainda pouco exploradas na literatura, e contribuição prática, ao apoiar profissionais e instituições na adoção de estratégias mais eficientes e competitivas no setor da construção civil.

Figura 1: Logo das certificações ambientais estudadas no artigo



Fonte: Colagem elaborada pelos autores a partir de Associação HQE (2005), USGBC (2025), e CAIXA (2020), 2025.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Certificações Ambientais e Aplicações no Contexto Brasileiro

As mudanças climáticas constituem uma das principais preocupações globais da atualidade, tornando indispensável a adoção de ações coordenadas em escala mundial para mitigar os impactos ambientais, em especial aqueles relacionados à construção civil, setor reconhecido pelo elevado consumo de recursos naturais e pela significativa geração de resíduos.

Em resposta a esse desafio, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu, em 2015, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), metas globais a serem alcançadas até 2030, que orientam políticas públicas e iniciativas voltadas ao desenvolvimento sustentável (United Nations, 2015). Entre eles, destacam-se aqueles diretamente relacionados ao planejamento urbano e às edificações: ODS 7 (Energia Acessível e Limpa), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Esses objetivos reforçam a urgência de reduzir o consumo excessivo de recursos naturais, otimizar o uso de energia e ampliar a eficiência dos materiais na construção civil.

As certificações ambientais surgem como instrumentos estratégicos que incorporam as ODS e contribuem para a construção de um futuro mais sustentável. No contexto brasileiro, essas certificações assumem grande relevância por priorizarem aspectos como o controle de resíduos, redução do consumo de energia e água, gestão do ciclo de vida dos materiais utilizados, conforto ambiental dentro das construções e integração com a natureza. Entre as certificações disponíveis no Brasil, destacam-se as mais utilizadas: LEED, AQUA-HQE e Selo Casa Azul, adaptadas à realidade climática brasileira e ao contexto do país em desenvolvimento, sem abrir mão dos requisitos internacionais e das metas dos ODS (Conto, Oliveira, Ruppenthal, 2017). Tais certificações são fundamentais para potencializar práticas sustentáveis e gerar resultados que transcendem o âmbito organizacional, estabelecendo caminhos estratégicos com impactos significativos a longo prazo.

2.2 Tecnologias de Informação e Comunicação Aplicadas à Construção

De acordo com Rocha, Cândido e Neto (2024), a tecnologia aplicada à construção civil no Brasil tem se expandido significativamente, principalmente pela integração às fases de concepção de projeto e execução da obra. Essa integração moderniza os processos construtivos e possibilita maior eficiência e inovação, como ocorre no uso de softwares de simulação, como o uso de ferramentas como EnergyPlus, DesignBuilder e AnalysisBIO, voltados à análise energética e ao conforto ambiental, bem como o uso do DIVA for Rhino, Daylight e ENVI-met, aplicados à avaliação de iluminação natural, desempenho térmico e microclima urbano.

Revisões realizadas por Carvalho et al. (2020), Caconde (2023) e Gartoumi et al. (2025) sobre a relação entre BIM e certificações ambientais destacam o potencial da tecnologia, mas também apontam desafios para sua automatização. Os estudos mostram que o LEED é a certificação mais frequentemente associada ao BIM, presente em 22 dos 26 trabalhos analisados por Carvalho et al. (2020) e em 38 revisões de Gartoumi et al. (2025), evidenciando que a ferramenta apresenta-se como alternativa capaz de simplificar etapas e tornar os procedimentos mais acessíveis, a



partir da geração de tabelas de especificações e orçamentos, compatibilização de projetos em um único ambiente digital, previsão de técnicas de construção que reduzam desperdícios e recursos, além do apoio a decisões em tempo real.

Outro campo de aplicação relevante das TICs ocorre na fase de uso e manutenção das edificações, etapa que influencia diretamente a durabilidade da construção e o bem-estar dos usuários. Nessa perspectiva, sistemas de gestão predial associados ao BIM permitem monitorar indicadores de desempenho energético, consumo de água e funcionamento de equipamentos. De forma complementar, sensores inteligentes e recursos da IoT ampliam o controle sobre climatização, iluminação e segurança, promovendo ambientes mais confortáveis, eficientes e ambientalmente responsáveis (Rocha, Cândido e Neto, 2024). Tais tecnologias contribuem não apenas para reduzir custos operacionais e ampliar a vida útil das edificações, mas também para reforçar o papel estratégico da construção civil na geração de benefícios sociais, econômicos e ambientais duradouros.

Ferramentas como passaporte de materiais, análise de ciclo de vida, gêmeos digitais e dispositivos de monitoramento têm ganhado espaço na construção sustentável. O passaporte de materiais funciona como um banco de dados sobre os insumos utilizados, permitindo rastreabilidade e incentivo à economia circular. A ACV possibilita mensurar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida da edificação, oferecendo base para escolhas mais conscientes. Já os gêmeos digitais, que integram modelos virtuais em tempo real com os edifícios físicos, ampliam a capacidade de prever cenários e otimizar o desempenho. Complementarmente, dispositivos de monitoramento fornecem dados contínuos sobre energia, água e conforto ambiental, fortalecendo a gestão e a manutenção sustentável.

As TICs, representam um vetor de transformação para a construção civil, permitindo maior eficiência produtiva, transparência de dados, redução de impactos ambientais e otimização do ciclo de vida das edificações. No entanto, sua aplicação ainda enfrenta desafios relacionados à automação, à padronização de processos e ao custo de implementação, o que evidencia a necessidade de ampliar sua inserção especialmente nos sistemas de certificação ambiental e nas práticas de construção sustentável.

3 METODOLOGIA

Para garantir maior rigor metodológico, foram definidos critérios explícitos para a seleção das certificações analisadas, considerando: (i) relevância no contexto brasileiro; (ii) aplicabilidade em diferentes tipologias construtivas; e (iii) disponibilidade pública de manuais técnicos atualizados. A partir desses critérios, foi realizado um levantamento em bases de dados indexadas, como Scopus, SciELO e Google Acadêmico, utilizando as palavras-chave “sustentabilidade”, “certificações ambientais”, “contexto brasileiro”, “construção civil” e “tecnologias da informação e comunicação”, com o objetivo de identificar as certificações mais relevantes para o escopo da pesquisa. Com base na análise dos estudos encontrados e dos manuais técnicos neles referenciados, foram selecionadas três certificações principais: AQUA-HQE, LEED e Selo Casa Azul.

Adicionalmente, a inclusão do termo “tecnologias da informação e comunicação” como palavra-chave possibilitou a identificação, na literatura, de diferentes TICs aplicadas à construção civil. A leitura preliminar dos manuais das certificações indicou a viabilidade de estabelecer relações entre a aplicação dessas tecnologias e o atendimento aos critérios de avaliação. Entre as TICs identificadas, destacaram-se:



softwares de simulação, BIM, sensores inteligentes, Internet das Coisas, gêmeos digitais, dispositivos de monitoramento, passaporte de materiais e ACV.

Para assegurar a consistência na etapa de análise documental dos manuais técnicos, foi definido um protocolo de extração de dados, no qual os manuais foram examinados de forma sistemática, com o objetivo de identificar: (a) menções diretas ou indiretas ao uso de TICs; (b) exigências de comprovação por meio de ferramentas digitais; e (c) incentivos à adoção dessas tecnologias ao longo do ciclo de vida das edificações.

A partir dos dados coletados, foi elaborada uma matriz analítica baseada em quatro categorias comuns às certificações (água, conforto, energia e materiais), permitindo a identificação de padrões de incorporação tecnológica e a realização de uma correlação qualitativa entre tecnologias e critérios avaliativos. Por fim, desenvolveu-se uma análise crítica, evidenciando avanços, lacunas e oportunidades de aprimoramento na integração entre TICs e processos de certificação ambiental.

Como limitações da pesquisa, destacam-se: a dependência de documentos normativos, que podem não refletir integralmente a prática de mercado; a ausência de estudos de caso empíricos; e a rápida evolução das tecnologias digitais, que pode tornar parte das análises temporalmente sensíveis. Ressalta-se, portanto, que os resultados apresentados configuram um panorama inicial, sendo recomendável o desenvolvimento de investigações futuras que incorporem estudos de caso e análises para aprofundar o cotidiano das edificações certificadas que utilizam TICs.

Salienta-se, ainda, o uso da ferramenta ChatGPT como suporte no processo de revisão ortográfica. Ao término da redação, os parágrafos foram submetidos ao comando: “Faça uma revisão da ortografia e coesão do texto”. Esse procedimento teve como finalidade revisar a gramática, a clareza e a coesão textual, sob a supervisão criteriosa das autoras, garantindo a preservação integral do conteúdo original elaborado.

4 RESULTADOS

4.1 Aplicação do Protocolo de Extração de Dados

4.1.1 AQUA-HQE

Criada em 2008 a partir da adaptação ao contexto brasileiro da certificação francesa HQE (Haute Qualité Environnementale), a AQUA-HQE é administrada pela Fundação Vanzolini e representa o primeiro sistema de certificação ambiental para edificações desenvolvido no Brasil. Seu objetivo é avaliar e incentivar práticas sustentáveis ao longo do ciclo de vida das construções, promovendo eficiência ambiental, conforto e qualidade de uso. A certificação abrange diferentes tipologias, como novas construções, edifícios em operação, empreendimentos residenciais, comerciais, industriais e de infraestrutura, permitindo adequação às necessidades locais.

A avaliação é estruturada em quatro grandes dimensões: eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde, contemplando critérios como gestão de energia, uso racional da água, qualidade do ar interno, escolha de materiais, gestão de resíduos e integração ao entorno urbano. O processo de certificação é baseado em auditorias presenciais realizadas por avaliadores credenciados, garantindo maior controle técnico e adequação ao contexto nacional. Quanto ao uso de tecnologias, a AQUA-HQE permite integração com plataformas BIM e simuladores de desempenho ambiental, facilitando a análise de eficiência energética, conforto térmico e gestão de recursos naturais.



Assim, a certificação busca alinhar-se às inovações tecnológicas, ampliando a precisão das avaliações e contribuindo para a difusão de práticas sustentáveis no mercado da construção civil brasileira (Associação HQE, 2005).

4.1.2 LEED

A certificação Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), atualmente em sua quinta versão (V.5), possui grande relevância no contexto brasileiro, lançada em 1998, idealizada pelo U.S. Green Building Council (USGBC). Ela avalia o desempenho sustentável das edificações com foco em emissões de carbono quase zero, eficiência energética, estratégias de conservação e restauração ecológica priorizando o conforto, a saúde e o bem-estar dos usuários, sendo aplicável em diferentes etapas e tipologias, como projeto e construção de edifícios (BD+); design de interiores e construção (ID+C); operações e manutenção de edifícios (O+M); desenvolvimento de bairro (ND); residenciais; e cidades.

Para obter a certificação LEED, o projeto deve adotar estratégias que atendam às metas previstas em cada categoria do manual, apresentando documentação comprobatória dos resultados, então esse material é submetido ao Green Business Certification Inc. (GBCI), podendo ser necessário auditoria em projetos complexos. O GBCI, é responsável por avaliar o desempenho e enquadrar a edificação em um dos níveis da certificação (Certificado, Prata, Ouro ou Platinum), onde as principais áreas avaliadas são: Localização e Transporte, Locais Sustentáveis, Eficiência da Água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade Ambiental Interna, Inovação e Prioridade Regional.

Quanto ao uso de TICs, não há uma obrigatoriedade sobre o uso de uma ferramenta específica, contudo a documentação sobre o projeto precisa ser enviada pela plataforma online do sistema (LEED Online), e para que se possa comprovar o atendimento aos pré-requisitos do manual da certificação, principalmente nas categorias relacionadas a eficiência energética, qualidade do ambiente, uso da água e avaliação de materiais, indica-se o uso de simulações computacionais e recursos de extensão para BIM. Sendo também comum o incentivo ao uso de sistemas de monitoramento após a certificação, com o objetivo de acompanhar o desempenho e garantir a gestão eficiente dos edifícios como o software LEED Dynamic Plaque, com atualizações sobre a pontuação do edifício, a partir da avaliação da sua performance de desempenho sustentável (USGBC, 2025).

4.1.3 Selo Casa Azul

Criado em 2009 pela Caixa Econômica Federal (CAIXA), o Selo Casa Azul tem caráter Ambiental, Social e de Governança (ASG), destinado a avaliar soluções de sustentabilidade em habitações apoiadas ou financiadas pela CAIXA, na etapa de concepção, execução, uso, ocupação e manutenção. A certificação possui categorias bronze, prata, ouro e cristal, onde a avaliação é feita por meio da análise nas categorias de: Qualidade Urbana e Bem-Estar, Eficiência Energética e Conforto Ambiental, Gestão Eficiente da Água, Produção Sustentável, Social e Inovação. O objetivo principal é incentivar a adoção de estratégias arquitetônicas de qualidade, que promovam o uso racional de recursos naturais, maior eficiência energética, conforto ambiental para os usuários e qualidade urbana.



Para solicitar a certificação, o contratante deve reunir documentos que comprovem o atendimento tanto aos requisitos obrigatórios quanto aos complementares, podendo ser por meio de planilhas, imagens, relatórios de softwares de simulação ou dados obtidos por dispositivos digitais de monitoramento de consumo e geração de resíduos. Posteriormente, é realizada a visita técnica por meio da certificadora. É importante destacar que a análise também estabelece pontuações para a aplicação do BIM na gestão do empreendimento, as estratégias de redução de carbono, o uso de madeira certificada, a eficiência no manejo da água, o desempenho térmico das edificações e a adoção de tecnologias voltadas para a economia de energia (CAIXA, 2020).

4.2 Aplicação da Matriz Analítica

4.2.1 Água

As ferramentas digitais aplicadas ao critério água atuam principalmente em três frentes: modelagem e simulação do balanço hídrico do edifício (dimensionamento de sistemas de Reúso, reúso de águas pluviais e consumo per capita); monitoramento em tempo real por meio de dispositivos e medidores conectados; e organização documental para comprovação (planilhas, relatórios exportáveis e bases de dados). O uso de BIM facilita a integração das informações hidráulicas ao modelo construtivo (por exemplo, quantitativos de tubulações, reservatórios e pontos de consumo), enquanto sensores IoT e sistemas de telemetria permitem comparar desempenho previsto vs. real durante a operação. Essas capacidades apoiam a comprovação de medidas exigidas por certificações que avaliam gestão eficiente da água e reutilização, contribuindo para a redução do consumo e para maior confiabilidade da documentação de submissão.

Em escala urbana, essas tecnologias também contribuem para estratégias de drenagem sustentável, auxiliando no manejo de águas pluviais e na redução de sobrecargas em sistemas urbanos, impactando diretamente a resiliência da paisagem.

4.2.2 Conforto

No critério conforto (térmico, lumínico e qualidade do ar interno) as TICs mais relevantes são simuladores de desempenho térmico, softwares de iluminação natural e ferramentas de CFD para ventilação, além do uso de sensores de ocupação e qualidade do ar em operação. A integração desses simuladores ao modelo BIM permite que decisões sobre envoltória, sombreamento e sistemas HVAC sejam testadas já na fase de projeto, reduzindo retrabalhos e aumentando a probabilidade de atender aos requisitos de conforto das certificações. Em fase de operação, os gêmeos digitais e os sistemas de monitoramento possibilitam verificar a manutenção do desempenho ao longo do tempo, oferecendo evidências contínuas para avaliações pós-ocupação. Além do ambiente interno, essas ferramentas permitem avaliar o conforto térmico em espaços abertos, como praças e áreas de circulação, contribuindo para o planejamento de microclimas urbanos mais adequados.

4.2.3 Energia

As TICs no domínio energético englobam modelagem energética integrada ao BIM, simulações dinâmicas de carga e desempenho, planejamento de medidas de



eficiência (sistemas fotovoltaicos, sombreamento ativo), além de plataformas de monitoramento (placas dinâmicas como o LEED Dynamic Plaque) que acompanham a performance em operação. A geração automática de relatórios energéticos a partir de um modelo consolidado auxilia na comprovação de resultados e na otimização de estratégias antes da obra. A combinação de modelagem preditiva e medição real contribui para reduzir incertezas nas estimativas e aumenta a confiabilidade das evidências submetidas às certificadoras. A eficiência energética das edificações também influencia o microclima urbano, especialmente na mitigação de ilhas de calor e na melhoria das condições térmicas do entorno imediato.

4.2.4 Material

A categoria responsável por avaliar o material, presente nas certificações ambientais, tem como objetivo reduzir os impactos ao meio ambiente tanto na etapa de extração quanto no descarte, incentivando a utilização de insumos certificados, recicláveis e de baixo impacto ambiental. Nesse contexto, as TICs desempenham um papel estratégico ao viabilizar o acompanhamento e a rastreabilidade dos insumos empregados. Ferramentas como o Passaporte de Materiais oferecem um banco de dados estruturado sobre a origem, composição e ciclo de vida dos elementos construtivos, favorecendo práticas de economia circular e incentivando o reuso. Além disso, softwares de simulação integrados ao BIM, como o Tally, o SimaPro e o OpenLCA, permitem a realização da ACV diretamente vinculadas ao quantitativo extraído do modelo digital, reduzindo desperdícios e apoiando escolhas mais conscientes. A própria modelagem BIM auxilia na previsão e no controle do consumo de materiais, otimizando orçamentos e etapas executivas.

De forma complementar, sensores inteligentes e dispositivos de monitoramento podem identificar falhas ou perdas ao longo do processo construtivo, enquanto soluções baseadas em IoT viabilizam plataformas de rastreamento e bancos de dados urbanos capazes de indicar a disponibilidade de materiais para reuso em diferentes locais da cidade. Tais recursos fortalecem não apenas a conformidade com os requisitos das certificações, mas também a transição para práticas mais sustentáveis e alinhadas à economia circular no setor da construção civil. A escolha dos materiais também impacta a paisagem urbana, especialmente em aspectos como permeabilidade do solo, absorção térmica e integração com o entorno construído.

4.3 Correlação Qualitativa

Com base na matriz analítica apresentada na seção anterior, elaborou-se um quadro síntese com o objetivo de sistematizar a relação entre as Tecnologias da Informação e Comunicação identificadas e as categorias de avaliação comuns às certificações ambientais analisadas (água, conforto, energia e materiais). A partir dessa sistematização, observa-se que determinadas tecnologias, como softwares de simulação e o BIM, apresentam caráter transversal, sendo aplicáveis a múltiplas categorias avaliativas. Por outro lado, ferramentas como o Passaporte de Materiais e a ACV demonstram atuação mais específica, concentrando-se principalmente na dimensão dos materiais. Tecnologias como sensores inteligentes, IoT, gêmeos digitais e dispositivos de monitoramento destacam-se por sua capacidade de atuação na fase operacional das edificações, contribuindo para o acompanhamento contínuo do desempenho ambiental.

Tabela 1: Quadro síntese da aplicação das TICs nas principais categorias das certificações

TICs	Água	Conforto	Energia	Materiais
Softwares de simulação	Simulam cenários de reuso e economia de água.	Avaliam desempenho térmico, acústico e lumínico.	Simulam eficiência energética (iluminação, climatização).	Avaliam impacto de materiais na construção virtual.
BIM	Integra projetos hidráulicos, reduzindo perdas.	Compatibiliza soluções arquitetônicas e de conforto ambiental.	Modela sistemas energéticos e simula cenários de eficiência.	Permite rastreabilidade e quantificação de materiais.
Sensores inteligentes	Detectam vazamentos e monitoram consumo.	Medem temperatura, umidade, CO ₂ e iluminação.	Monitoram consumo elétrico em tempo real.	Identificam condições de uso e desempenho de materiais.
IoT	Conecta sistemas de gestão hídrica à automação predial.	Íntegra, climatização e iluminação inteligentes.	Integra geração, distribuição e consumo energético em tempo real.	Rastreia cadeia de suprimentos e uso de materiais.
Gêmeos digitais	Simulam cenários de uso da água e eficiência hídrica.	Reproduzem condições ambientais para prever conforto.	Simulam desempenho energético durante a operação, prevenindo falhas.	Simulam durabilidade e impactos ambientais dos materiais.
Dispositivos de monitoramento	Registram consumo hídrico para relatórios de certificação.	Acompanham níveis de conforto em tempo real.	Medem geração e consumo energético em tempo real.	Monitoram ciclo de uso e descarte de materiais.
Passaporte de materiais	-	-	-	Identifica origem, composição e potencial de reúso dos materiais.
ACV	-	-	Avalia impactos ambientais relacionados ao uso de energia ao longo da vida útil.	Avalia impactos ambientais dos materiais ao longo da vida útil (extração a descarte).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Entretanto, ao relacionar esse potencial tecnológico com os sistemas de certificação analisados, verifica-se que a incorporação das TICs não ocorre de maneira homogênea entre eles. Embora o quadro evidencie amplas possibilidades de aplicação das tecnologias no suporte aos critérios ambientais, sua efetiva utilização depende das diretrizes, exigências e instrumentos operacionais adotados por cada certificação.

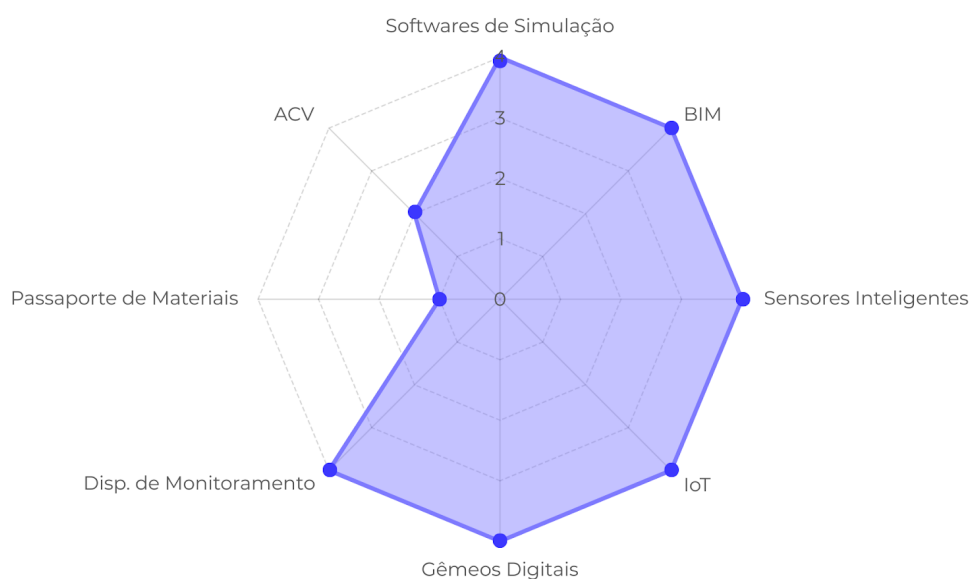
No caso da certificação LEED, nota-se uma maior incorporação das TICs, especialmente por meio da exigência de submissão digital de documentação, do incentivo ao uso de simulações computacionais para comprovação de desempenho e da adoção de plataformas de monitoramento em fase de operação, como sistemas de acompanhamento contínuo da performance ambiental. Essa estrutura favorece uma integração mais consistente entre ferramentas digitais e o processo de certificação.

A certificação AQUA-HQE, por sua vez, apresenta uma incorporação intermediária das TICs. Embora permita e, em alguns casos, incentive o uso de ferramentas como BIM e softwares de simulação para análise de desempenho, seu processo ainda está fortemente apoiado em auditorias presenciais e avaliações qualitativas, o que limita a plena digitalização dos procedimentos.

Já o Selo Casa Azul evidencia uma incorporação mais restrita das tecnologias digitais. Apesar de reconhecer a relevância de ferramentas como BIM e simulações computacionais, sua aplicação ocorre de forma pontual, sem a existência de uma estrutura digital consolidada para submissão, verificação e monitoramento contínuo dos dados, o que reduz o potencial de integração das TICs ao processo de certificação.

A correlação dos dados indica que, embora exista um conjunto amplo de tecnologias capazes de atender aos critérios ambientais, com algumas se destacando por abranger múltiplas categorias (Figura 2), sua incorporação efetiva depende do grau de digitalização e das exigências específicas de cada sistema. Essa discrepância é o resultado de uma lacuna entre o potencial das TICs e sua aplicação prática nos processos de certificação no contexto brasileiro.

Figura 2: Gráfico com as TICs separadas por número de categorias utilizadas



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados, a análise desenvolvida neste trabalho permite afirmar que a incorporação das Tecnologias da Informação e Comunicação nas certificações ambientais no Brasil, não ocorre de forma sistêmica, sendo condicionada pelos instrumentos operacionais e pelo grau de digitalização de cada certificação, e não pelo potencial técnico das próprias tecnologias. Nesse sentido, há uma dissociação entre capacidade e aplicação: embora as TICs possibilitem a simulação, monitoramento contínuo e integração de dados ao longo do ciclo de vida das edificações, sua utilização ainda se concentra em etapas pontuais, sem consolidar fluxos digitais contínuos nos processos de certificação.

Essa limitação vai além dos impactos na eficiência dos sistemas de avaliação; ela também restringe o alcance das certificações na escala urbana. Ao não explorar plenamente ferramentas capazes de simular e monitorar variáveis ambientais, reduz-se o potencial de atuação sobre aspectos como microclima, conforto em espaços abertos, drenagem urbana e qualidade das interfaces entre edifício e espaço público, dimensões fundamentais para a qualificação da paisagem, que deveriam ser consideradas pelas próprias certificadoras ao avaliar essas construções.



O desafio central consiste em estruturar modelos de certificação que integrem essas ferramentas de maneira contínua, conectando projeto, execução, operação e seus impactos à paisagem. Tal avanço pode contribuir para processos mais transparentes, precisos e alinhados às demandas contemporâneas da sustentabilidade no ambiente construído.

Por fim, ressalta-se que os resultados apresentados devem ser compreendidos como um panorama do contexto brasileiro, uma vez que se baseiam predominantemente em documentos normativos e não contemplam a aplicação empírica das certificações. Nesse sentido, investigações futuras que incorporem estudos de caso e análises em contexto real mostram-se fundamentais para aprofundar a compreensão sobre a incorporação das TICs na prática profissional e seus impactos no desempenho ambiental das edificações e na qualidade da paisagem urbana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa de estudos à mestranda Nicolay Gonçalves da Silveira Santos (Código de Financiamento 001).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO HQE. **HQE – Haute Qualité Environnementale**. Paris: Association HQE, 2005. Disponível em: <https://www.assohqe.org/>. Acesso em: 02 set. 2025.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Guia Selo Casa Azul + CAIXA: boas práticas para habitação mais sustentável**. Brasília, jun. 2020. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf. Acesso em: 8 set. 2025.

CONTO, V.; OLIVEIRA, M. L.; RUPPENTHAL, J. E. (2017). Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. **Revista Gestão Da Produção Operações E Sistemas**, 12(4), 100. DOI: 10.15675/gepros.v12i4.1749

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Certificação AQUA-HQE**. São Paulo: Fundação Vanzolini, 2008. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/sustentabilidade/certificacao-aqua-hqe/>. Acesso em: 02 set. 2025.

LIMA, L. M.; FREITAS, R.; AZERÊDO, J. As certificações ambientais habitacionais contribuem na sustentabilidade ambiental urbana?. In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16., 2021. Anais [...]. [S. l.], 2021. p. 206–214. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4348>. Acesso em: 11 jul. 2025.

MORAES, L. O.; PEREIRA, C. C. A sustentabilidade na construção civil: análise da certificação AQUA-HQE em empreendimentos brasileiros. **Revista Engenharia Civil**, v. 67, n. 2, p. 77-91, 2021.

ROCHA, L. M.; CÂNDIDO, L. F.; NETO, J. P. B. Determinants of the propensity to use of digital technologies in the Brazilian construction Industry. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. DOI:10.1590/s1678-86212025000100900.



SILVA, V. G.; SILVA, M. G. Avaliação ambiental de edifícios: análise comparativa entre as certificações LEED, BREEAM e AQUA. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 7-26, 2010.

UGREEN. **Compreendendo os níveis de certificação LEED**. UGREEN Projects, [s.l.], 2025. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/compreendendo-os-niveis-de-certificacao-leed/>. Acesso em: 5 set. 2025.

UN-Habitat. (2020). **World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization**. Nairobi: UN-Habitat. Disponível em: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2020-the-value-of-sustainable-urbanization>. Acesso em 03 set. 2025.

USGBC. **LEED rating system. U.S. Green Building Council, 2025**. Disponível em: <https://www.usgbc.org/leed>. Acesso em: 05 set. 2025.