

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA SISTEMAS INTEGRADOS DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE RCD NA AMAZÔNIA: UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO DAS BARREIRAS TÉCNICAS, LOGÍSTICAS E REGIONAIS

EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR INTEGRATED SYSTEMS OF CDW PLANNING AND CONTROL IN THE AMAZON: A MULTICRITERIA ANALYSIS OF TECHNICAL, LOGISTICAL, AND REGIONAL BARRIERS

EVALUACIÓN DE LA APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍAS DIGITALES PARA SISTEMAS INTEGRADOS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE RCD EN LA AMAZONÍA: UN ANÁLISIS MULTICRITERIO DE LAS BARRERAS TÉCNICAS, LOGÍSTICAS Y REGIONALES

Aderian dos Santos Rodrigues¹, Flávia Baia Trindade Vanzeler², Kleber Nogueira de Souza Junior³, Isa Karla Gomes de Paula⁴, Matheus Viana Mello⁵, Marcelo Rassy Teixeira⁶

DOI: 10.54899/dcs.v22i85.3950

Recibido: 03/12/2025 | **Aceptado:** 05/12/2025 | **Publicación en línea:** 17/12/2025.

RESUMO

Este artigo tem por objetivo apresentar propostas verificadas na literatura de Sistemas Integrados de Planejamento e Controle de RCD com auxílio de tecnologias digitais, na intenção de contribuir para processos mais eficientes, sustentáveis e alinhados às demandas atuais da construção civil brasileira. Para isso, a metodologia proposta foi elaborada para possibilitar a identificação, avaliação e comparação de sistemas tecnológicos aplicados ao Planejamento e Controle de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no cenário nacional e internacional, com foco na análise de sua aplicabilidade à realidade amazônica. Sendo realizada uma revisão sistemática baseada nas diretrizes do PRISMA. O avanço tecnológico tem impulsionado o desenvolvimento de ferramentas digitais capazes de apoiar o planejamento, controle e rastreabilidade dos RCD. A literatura mostra que sistemas baseados em BIM, aplicativos de gestão, QR Codes e ferramentas de automação apresentam potencial significativo para minimizar erros, fortalecer a

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenv. Energético, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: aderian94@live.com Orcid: orcid.org/0000-0002-8617-2967

² Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenv. Energético, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, Pará, Brasil. E-mail: eng.flaviavanzeler01@gmail.com Orcid: orcid.org/0009-0009-1190-0884

³ Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: juniorkleber87@gmail.com Orcid: orcid.org/0009-0007-3726-130X

⁴ Graduada em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: isadipaula.eng88@gmail.com Orcid: orcid.org/0009-0008-2664-015X

⁵ Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. E-mail: matheus.mello2198@gmail.com Orcid: orcid.org/0009-0004-5478-3503

⁶ Doutor em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: mrt@ufpa.br Orcid: orcid.org/0000-0002-3294-7368

rastreabilidade e permitir análises mais precisas da geração de resíduos, por isso, a urgência em aprimorar a gestão de RCD na Região Norte, marcada pela insuficiência da legislação atual e por severas limitações logísticas, de infraestrutura digital e de desenvolvimento humano, sobretudo na região Amazônica do País.

Palavras-chave: Sistemas Integrados de Planejamento e Controle. Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Amazônia e Infraestrutura Logística. Construção Civil.

ABSTRACT

This article aims to present proposals identified in the literature regarding Integrated Systems for Planning and Control of Construction and Demolition Waste (CDW), supported by digital technologies, with the intention of contributing to more efficient, sustainable processes aligned with the current demands of the Brazilian construction industry. To this end, the proposed methodology was designed to enable the identification, assessment, and comparison of technological systems applied to the Planning and Control of Construction and Demolition Waste in both national and international contexts, with a focus on analyzing their applicability to the Amazonian reality. A systematic review was conducted based on PRISMA guidelines. Technological advances have driven the development of digital tools capable of supporting the planning, control, and traceability of CDW. The literature shows that systems based on BIM, management applications, QR Codes, and automation tools present significant potential to reduce errors, strengthen traceability, and allow for more accurate analyses of waste generation. For this reason, there is an urgent need to improve CDW management in the Northern Region of Brazil, which is marked by insufficient legislation and severe logistical, digital infrastructure, and human development limitations, especially within the Amazon region.

Keywords: Integrated Planning and Control Systems. Construction and Demolition Waste (CDW). Amazon Region and Logistics Infrastructure. Construction Industry.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo presentar propuestas identificadas en la literatura sobre Sistemas Integrados de Planificación y Control de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), apoyados por tecnologías digitales, con la intención de contribuir a procesos más eficientes, sostenibles y alineados con las demandas actuales del sector de la construcción en Brasil. Para ello, la metodología propuesta fue elaborada para permitir la identificación, evaluación y comparación de sistemas tecnológicos aplicados a la Planificación y Control de Residuos de Construcción y Demolición en los contextos nacional e internacional, con énfasis en el análisis de su aplicabilidad a la realidad amazónica. Se llevó a cabo una revisión sistemática basada en las directrices PRISMA. El avance tecnológico ha impulsado el desarrollo de herramientas digitales capaces de apoyar la planificación, el control y la trazabilidad de los RCD. La literatura demuestra que los sistemas basados en BIM, aplicaciones de gestión, códigos QR y herramientas de automatización presentan un potencial significativo para minimizar errores, fortalecer la trazabilidad y permitir análisis más precisos de la generación de residuos. Por ello, existe una urgencia en mejorar la gestión de RCD en la Región Norte de Brasil, marcada por la insuficiencia de la legislación vigente y por severas limitaciones logísticas, de infraestructura digital y de desarrollo humano, especialmente en la región amazónica del país.

Palabras clave: Sistemas Integrados de Planificación y Control. Resíduos de Construcción y Demolición (RCD). Región Amazónica e Infraestructura Logística. Construcción Civil.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A construção civil desempenha papel essencial no desenvolvimento socioeconômico, porém é também uma das atividades que mais degradam o meio ambiente, sobretudo em função da elevada geração de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Segundo Luz e Palha (2024), a construção civil chega a responder por 25% de todos os resíduos sólidos e 40% dos materiais depositados em aterros. Lins, Palha e Sobral (2022) enfatizam que “cerca de 35% dos resíduos sólidos produzidos no mundo são gerados pela AECO” e que grande parte deles ainda é destinada de forma inadequada, devido à ineficiência na gestão dos resíduos.

No Brasil, o problema é ainda mais preocupante: apenas em 2021 foram geradas 48 milhões de toneladas de resíduos da construção civil, cuja quantificação e controle permanecem desafiadores em razão da singularidade dos projetos e da escassez de ferramentas eficazes para estimativa prévia (Luz; Palha, 2024).

A Região Norte, particularmente a Amazônia brasileira, tem apresentado um crescimento expressivo na produção de RCD, um aumento de 96,5% entre 2007 e 2019, de acordo com Brandão et al. (2023). Esses autores destacam que, embora existam instrumentos legais como a Resolução CONAMA 307/2002 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tais regulamentações ainda são insuficientes para assegurar uma gestão eficaz e integrada dos resíduos.

Nesse cenário, tecnologias digitais emergem como ferramentas estratégicas para melhorar a rastreabilidade, o planejamento e o controle dos fluxos de materiais. Dentre elas, o Building Information Modeling (BIM) tem ganhado destaque, sendo reconhecido como uma metodologia capaz de apoiar a estimativa de quantidades, custos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida da edificação. Lins, Palha e Sobral (2022) afirmam que o BIM apresenta “efetiva viabilidade para a gestão dos RCD no Brasil”, ampliando a precisão e eficiência quando comparado aos métodos tradicionais de controle de resíduos.

Outras tecnologias digitais complementares, como QR Codes, aplicativos de gestão e rotinas de automação em ambientes BIM, têm sido exploradas na literatura como meios de

ampliar a rastreabilidade dos resíduos desde a geração até sua destinação final. Luz e Palha (2024), por exemplo, demonstram os benefícios da integração entre Revit, Dynamo e Python, incluindo economia de tempo, redução de erros e capacidade de personalização de cálculos e registros de resíduos, além de reforçarem a necessidade de automação completa do processo em estudos futuros.

Paralelamente, pesquisas sobre logística reversa e cadeias de suprimentos reversas de RCD evidenciam que a falta de integração e transparência entre os diferentes atores envolvidos, construtoras, transportadores, cooperativas, prefeituras, constitui um dos principais entraves à destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Brandão et al. (2023) apontam que a ausência de sistemas integrados e tecnologias de rastreamento limita a implementação de uma cadeia de valor robusta para os RCD na Amazônia e em outras regiões brasileiras.

Diante desse panorama, torna-se necessário propor soluções tecnológicas que permitam um sistema integrado de planejamento e controle de RCD, incorporando o potencial do BIM, QR Codes e aplicativos de gestão para monitorar em tempo real a geração, separação, armazenamento, transporte e destinação final dos resíduos.

Assim, este artigo tem como objetivo apresentar propostas verificadas na literatura de Sistemas Integrados de Planejamento e Controle de RCD com auxílio de tecnologias digitais, na intenção de contribuir para processos mais eficientes, sustentáveis e alinhados às demandas atuais da construção civil brasileira.

REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) tem sido tema recorrente na literatura nacional e internacional, especialmente diante da elevada geração de resíduos pela atividade construtiva e das dificuldades associadas ao seu controle. Diferentes estudos destacam que a ausência de mecanismos eficientes de rastreamento e planejamento contribui diretamente para o desperdício, ineficiência operacional e agravamento de impactos ambientais. Vasconcelos (2016) afirma que a construção civil “gera enormes volumes de resíduos, resultando em gastos desnecessários e problemas ambientais”, reforçando a necessidade de sistemas estruturados de gerenciamento. Em consonância, Oliveira et al. (2020) identificam que a falta de planejamento adequado durante a execução de obras aumenta o risco de geração de resíduos e compromete o desempenho dos empreendimentos, demonstrando que o problema é simultaneamente técnico e

gerencial.

O avanço tecnológico tem impulsionado o desenvolvimento de ferramentas digitais capazes de apoiar o planejamento, controle e rastreabilidade dos RCD. A literatura mostra que sistemas baseados em BIM, aplicativos de gestão, QR Codes e ferramentas de automação apresentam potencial significativo para minimizar erros, fortalecer a rastreabilidade e permitir análises mais precisas da geração de resíduos. Luz e Palha (2024) demonstram que o uso integrado de Revit, Dynamo e Python permite “redução de erros manuais e economia de tempo” na quantificação de resíduos, além de oferecer alto grau de personalização para diferentes tipos de obra. Já outros estudos revelam que abordagens computacionais sofisticadas, como algoritmos de estimativa e sistemas inteligentes, ampliam consideravelmente o potencial de previsão e tomada de decisão no tratamento de RCD.

Entretanto, a aplicabilidade dessas tecnologias em regiões de características socioeconômicas e logísticas específicas, como a Amazônia brasileira, ainda exige análise contextualizada. Brandão et al. (2023) destacam que os desafios logísticos e estruturais da região, incluindo grandes distâncias, infraestrutura limitada e custos elevados de transporte, afetam diretamente a operacionalização de sistemas de logística reversa de RCD. Segundo os autores, a cadeia reversa na Amazônia enfrenta “fragmentação, baixa integração entre agentes e dificuldades na efetividade da destinação correta”. Esse cenário indica que, embora existam tecnologias consolidadas em outras regiões do país e do mundo, nem todas são diretamente viáveis para aplicação na realidade amazônica sem adaptações.

Além das barreiras estruturais, fatores humanos e institucionais também influenciam a eficácia de sistemas tecnológicos na gestão de resíduos. Vasconcelos (2016) reforça que a ausência de capacitação, a falta de conscientização sobre a importância do gerenciamento de resíduos e a insuficiência de políticas públicas efetivas contribuem para o baixo desempenho operacional no setor da construção civil.

De forma semelhante, Oliveira et al. (2020) argumentam que a implementação de ferramentas de controle depende fortemente da “disciplina operacional dos agentes envolvidos e da cultura organizacional da obra”. Assim, observa-se que qualquer solução tecnológica deve considerar, além das especificidades geográficas da Amazônia, aspectos sociais, educacionais e institucionais que condicionam sua aceitação e funcionalidade.

A seleção de 30 artigos científicos brasileiros e internacionais, trás diversas categorias tecnológicas de gestão, apresentando uma diversidade de pesquisas realizadas por literaturas

diversificadas, as quais mapearam as finalidades, especificando as características técnicas, bem como as necessidades que elas exigem para que funcionem perfeitamente, e, além disso também apontaram as limitações que podem tornar tais propostas inviáveis para a utilização.

A tabela traz várias categorias tecnológicas, BIM, IoT/sensores, IA/ML, GIS, big data, automação, plataformas de gestão computacional, rastreabilidade, cumprindo o requisito de diversidade tecnológica proposto nesta pesquisa.

Tabela 1 – Referências sobre tecnologias para Planejamento e Controle de RCD

Nº	Referência	Tecnologias avaliadas	Finalidade / características técnicas	Necessidades para funcionar	Limitações apontadas
1	Cheng; Ma (2013).	BIM (Revit + Add-in / Revit API).	Quantificação e planejamento de resíduos de demolição/renovação; geração de quantitativos e custos.	Computador com Revit; Add-in; índices de empolamento; equipe com conhecimento BIM.	Alto grau de especialização; dependência de qualidade do modelo BIM.
2	Kang et al. (2022).	Smart BIM: BIM + IoT + DT + IA + GPS.	Simulação de demolição, avaliação de quantidades, roteirização e monitoramento do transporte.	Sensores IoT, GPS, infraestrutura de rede, servidores para gêmeo digital, equipe técnica.	Complexidade de integração; custo; necessidade de infraestrutura (comunicação/GPS).
3	Hu et al. (2022).	Image-to-BIM (UAV/drone + câmeras + fotogrametria → BIM).	Reconstrução BIM a partir de fotos; quantificação de RCD para demolição.	Drone/UAV, câmeras, software fotogramétrico, computador potente, operador treinado.	Sensível à qualidade de imagens; necessidade de processamento pesado; custo de equipamentos.
4	Jalaei; Zoghi; Khoshand (2019).	BIM + plugins (Navisworks/plugins BIM-LCA).	Avaliação de impactos do ciclo de vida e otimização de resíduos em licitações.	Software BIM + plug-ins LCA, base de dados LCA, especialista em LCA.	Dependência de bases de dados externas; complexidade metodológica.
5	Lu et al. (2017).	BIM + algoritmos de estimativa.	Estimativa de RCD associada a opções de projeto; apoio à decisão de projeto.	Banco de dados de índices; algoritmos; expertise em scripting/BIM.	Necessidade de dados confiáveis; generalização limitada.
6	Bakchan; Faust; Leite (2019).	BIM automatizado (scripts) para quantificação (concreto).	Estimativa automatizada e gestão para correntes específicas (concreto).	Revit/Dynamo, scripts, computador; conhecimento em programação.	Aplicação restrita a alguns fluxos (ex.: concreto); calibração necessária.
7	Pellegrini et al. (2020).	BIM + fichas externas (BIM	Avaliar propostas em licitações quanto à	Modelos BIM padronizados;	Exigência de padronização;

		para licitação).	minimização/gestão de RCD.	bases de dados; capacitação de avaliadores.	dependência de dados de entrada.
8	Nguyen, Nguyen & Do (2020).	BIM + digitalização laser 3D (scan to BIM).	Gerenciamento de volumes RCD as-built; controle de execução.	Laser scanner 3D; software de processamento; BIM; técnicos para digitalização.	Custo de digitalização; necessidade de equipe técnica; grandes volumes de dados.
9	Huang et al. (2022).	BIM + GIS + IoT (web).	Planejamento e simulação de reciclagem de solos escavados; emissão de plano físico-financeiro.	Sensores IoT, GIS, servidor web, integração IFC→GIS, equipe multidisciplinar.	Integração complexa; necessidade de dados geotécnicos de qualidade.
10	Iacovidou; Purnell; Lim (2018).	RFID + BIM.	Rastreabilidade de componentes para reuso; gestão do ciclo de vida.	Etiquetas RFID, leitores, integração com modelo BIM, logística para leitura.	RFID precisa de complementos (GPS, sensores); custo de tag/instalação; padronização.
11	Guerra; Leite; Faust (2020).	BIM 4D + algoritmos temporais.	Estimativa de geração, reuso e reciclagem ao longo do cronograma; planejamento visual.	Modelagem 4D, conhecimento de cronograma, ferramentas de automação.	Requer dados temporais detalhados; complexidade na modelagem 4D.
12	Wang, Wu & Luo (2021).	BIM-IFC + banco de dados (MS Access).	Transmissão de dados, quantificação e análise de custos para decisão de transporte/destinação.	Ambiente BIM interoperável (IFC), servidor/banco de dados, equipe TI.	Interoperabilidade IFC nem sempre perfeita; dependência de manutenção do BD.
13	Bakchan et al. (2019).	BIM + scripts automatizados (MQT).	Planejamento do descarte, estimativa de custo, programação de recipientes.	Revit/Dynamo/Excel, equipe programadora, dados de custo locais.	Específico para fluxo de concreto; adaptação para outros materiais necessária.
14	Giammetti; Rigillo (2020).	Revit BIM (modelagem de edifícios existentes).	Catologação de materiais, avaliação de reciclagem/reinserção (economia circular).	Levantamento as-built, equipe técnica, conhecimento de materiais.	Exige inventário físico detalhado; trabalho intensivo para edifícios grandes.
15	Bakchan, Faust & Leite (2019).	BIM 7D (quantificação + gestão).	Quantificação e programação avançada (gestão durante obra).	Modelagem completa; integração com gestão do canteiro.	Complexidade; pouca adoção por pequenas empresas.
16	Kim et al. (2017).	Revit API / Image-to-BIM (casos).	Quantificação por tipo de RCD em demolição; validação por estudos de caso.	Revit, API, dados de projeto, equipe treinada.	Necessita modelagem detalhada; índices regionais variam.

17	Rodríguez et al. (2022).	Revit API / ferramentas BIM-based.	Quantificação em fases de projeto inicial (early-design).	Modelagem inicial razoavelmente detalhada; plug-ins.	Precisão menor em fase muito inicial; dependência de parâmetros.
18	Heigermoser et al. (2019).	Ferramenta LPS protótipo integrada ao BIM.	Melhora do gerenciamento de canteiro e redução de resíduos via Last Planner System digital.	Uso de LPS digital; integração BIM; treinamento de equipe de planejamento.	Adoção cultural; necessidade de disciplina operacional.
19	Solís-Guzmán et al. (2009).	Índices de geração integrados ao BIM (uso em scripts).	Fornece índices por elemento para quantificação automatizada.	Base de dados de índices; integração com scripts/Dynamo/Python.	Índices dependem do contexto regional; podem sub/superestimarem.
20	Thabet et al. (2022).	Revit + Dynamo (integração FM).	Ligação de dados BIM ao FM para gestão contínua (incl. RCD em reformas).	Plataforma FM, integração API, profissionais FM treinados.	Barreiras de interoperabilidade e governança de dados.
21	Yang et al. (2022).	BIM-based automated site layout planning.	Otimização do layout do canteiro, reduz desperdício e movimentação.	Modelagem paramétrica, algoritmos de otimização, dados do canteiro.	Resultados dependem de dados precisos; complexidade computacional.
22	Anupama et al. (2023).	Dynamo / BIM (listas de materiais).	Obtenção automatizada de listas de materiais e redução de desperdício.	Dynamo/Revit, conhecimento lean, treinamento.	Requer mudança de processo organizacional; resistência à adoção.
23	Basta et al. (2020).	BIM framework (quantitative assessment).	Avaliação quantitativa da desmontabilidade/deconstrução de estruturas de aço.	Modelagem detalhada; dados sobre conexões e componentes.	Aplicabilidade setorial (estruturas metálicas).
24	Wawryniuk (2021).	BIM + conversão para prefabricação.	Conversão de modelos BIM para soluções pré-fabricadas, menor RCD.	Processos de manufatura digital; interoperabilidade CAD/BIM.	Necessidade de cadeia de suprimentos industrializada.
25	Lima et al. (2023).	BIM + design for deconstruction.	Coletar/armazenar dados para economia circular e deconstrução.	Política de documentação, equipe de projeto consciente de DfD.	Mudança no projeto e especificações; incentivos e regulação necessários.
26	Song et al. (2017).	Image-to-BIM / scan-to-BIM.	Auxilia desconstrução e planejamento de demolição por reconstrução 3D.	UAV/câmeras/scanner; software fotogrametria; operadores.	Alta necessidade de processamento; custo de hardware.
27	Liu et al. (2011).	Modelagem computacional + BIM para gerenciamento de resíduos.	Movimentar prática de BIM de retórica para aplicação prática (quantificação as-built).	Modelagem, bases de dados, equipe técnica.	Barreiras institucionais e de dados; custos iniciais.
28	Brandão et al. (2023).	Estudos sobre logística reversa;	Avalia práticas de LR/RSC e barreiras regionais; roteiro para	Governança, PPPs, centros de triagem,	Problemas legais/institucionais; logística (distâncias,

		modelos conceituais CSR; análise multissetorial	CVR na Amazônia.	capacitação local.	transporte fluvial/rodoviário); baixo mercado local para reciclados.
29	Luz & Palha (2024).	Revit + Dynamo + Python (algoritmo para quantificação RCD).	Algoritmo para quantificação em fases de construção/demolição ; automatização e exportação para Excel.	Revit, Dynamo, Python, índices de geração, computador; equipe programadora.	Necessidade de automação completa; dependência de bases de dados; capacitação.
30	Vasconcelos (2016).	Estudos de campo; BIM (uso introdutório) e práticas locais de gestão.	Identifica lacunas de capacitação e infraestrutura para adoção tecnológica em canteiros.	Formação profissional, políticas locais, recursos limitados.	Baixa adoção de BIM; falta de regulamentação local; barreiras educacionais.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

METODOLOGIA

A metodologia proposta foi elaborada para possibilitar a identificação, avaliação e comparação de sistemas tecnológicos aplicados ao Planejamento e Controle de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no cenário nacional e internacional, com foco na análise de sua aplicabilidade à realidade amazônica. O percurso metodológico está estruturado em quatro etapas principais: (1) Revisão Sistemática da Literatura; (2) Análise dos Sistemas Tecnológicos Identificados; (3) Avaliação de Adequação ao Contexto Amazônico.

Será realizada uma revisão sistemática baseada nas diretrizes do PRISMA 2020, tomando como referência a abordagem utilizada por Lins, Palha e Sobral (2022) e Luz e Palha (2024). A revisão abrangerá publicações nacionais e internacionais que tratem de tecnologias aplicadas ao planejamento, gestão e controle de RCD.

As bases de dados que serão utilizadas para a seleção das literaturas são: Web of Science, Scopus, Science Direct, Google Scholar, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Repositórios de eventos nacionais (ENTAC, ANTAC, ENEGEP, etc.). E, como estratégia de busca, serão utilizados descritores em português e inglês, combinados com operadores booleanos: “Resíduos de Construção e Demolição”; “RCD”; “Construction and Demolition Waste”; “CDW” “Planejamento”; “Controle”; “Gestão”; “Management”; “Tecnologias digitais”; “BIM”; “QR Code”; “Mobile App”; “Digital tools”; “Automation”; “Tracking systems”.

Como critério de inclusão serão selecionadas pesquisas que apresentem em seu conteúdo

sistemas ou tecnologias aplicadas ao planejamento, estimativa, controle, rastreabilidade ou destinação de RCD, assim como também que descrevem modelos, softwares, métodos computacionais, frameworks ou ferramentas digitais e as publicações serão dos últimos 15 anos.

Como critério de exclusão, não faremos menção a estudos puramente conceituais sem aplicação ou sem descrição de ferramenta; trabalhos focados apenas em resíduos urbanos não relacionados à construção; e, duplicidades ou artigos sem acesso ao texto completo.

Os sistemas encontrados serão classificados e analisados em três dimensões principais:

a) Categoria tecnológica

- BIM e extensões (Dynamo, Revit API, 4D/5D BIM etc.);
- Sistemas baseados em sensores (IoT, RFID, GPS, QR Codes etc.);
- Aplicativos móveis e plataformas Web;
- Ferramentas de rastreabilidade e logística reversa;
- Modelos integrados de gestão computacional;
- Sistemas de apoio à decisão (Machine Learning, IA, algoritmos de estimativa).

b) Características técnicas avaliadas

- Finalidade (planejamento, quantificação, controle, rastreamento etc.);
- Nível de automação;
- Necessidade de infraestrutura tecnológica;
- Escalabilidade;
- Facilidade de uso;
- Requisitos operacionais (capacitação, equipamentos, conectividade).

c) Resultados e limitações apresentadas pelos autores

- Com base nas conclusões dos estudos avaliados.

Para verificar a aplicabilidade das tecnologias ao cenário da Amazônia brasileira, será realizada uma matriz de avaliação considerando fatores regionais. Esses fatores serão definidos com base na literatura sobre logística reversa, cadeia de suprimentos reversa e gestão de resíduos na Amazônia (como as pesquisas selecionadas por Brandão et al., 2023). Os fatores regionais avaliados serão: Logística regional (acessos, transporte, distâncias, infraestrutura rodoviária e fluvial); Desenvolvimento humano (mão de obra qualificada, capacitação técnica); Infraestrutura digital (acesso à internet, equipamentos disponíveis); Incentivos governamentais (legislação local, fiscalização, políticas de resíduos); Educação ambiental (nível de conscientização, práticas do setor); Capacidade financeira das empresas (compatibilidade com custos da tecnologia);

Adequação climática e geográfica (chuvas, umidade, impactos em sensores, etc.). Cada sistema será analisado quanto à sua viabilidade, barreiras e potencial de implantação no Amazonas, Pará e demais estados da região.

Tabela 2 – Síntese da Metodologia Proposta Para o Estudo.

Etapas	Procedimentos	Ferramentas/Fontes	Produtos gerados
1. Revisão sistemática	Busca, triagem, leitura e seleção	PRISMA, bases de dados, critérios de inclusão/exclusão	Quadro de tecnologias identificadas
2. Análise dos sistemas	Classificação e caracterização técnica dos sistemas	Fichas de análise, leitura técnica dos artigos	Tabela comparativa de características
3. Avaliação amazônica	Aplicação dos fatores regionais (logística, DH, infraestrutura etc.)	Matriz de adequação regional	Diagnóstico dos pontos fortes e fracos por tecnologia
4. Método estatístico	Atribuição de pesos, pontuação e ranking	Score Weighted Method, Excel/R/Python	Ranking de aplicabilidade + gráfico de prós e contras

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi desenvolvido um método de classificação para as ferramentas tecnológicas analisadas nesta pesquisa, fundamentado nas limitações identificadas na literatura especializada. O sistema classificatório organiza essas restrições em sete categorias principais: (GC) elevado grau de complexidade operacional, demandando formação técnica específica; (CI) custos associados à infraestrutura necessária para implementação; (BE) dependência de bases de dados externas e de alta confiabilidade; (RS) restrição de aplicações a determinados sistemas construtivos (como concreto e aço); (BG) baixa capacidade de generalização decorrente da necessidade de dados altamente específicos; (LC) limitada confiabilidade metodológica; e (DL) dificuldades de ordem logística.

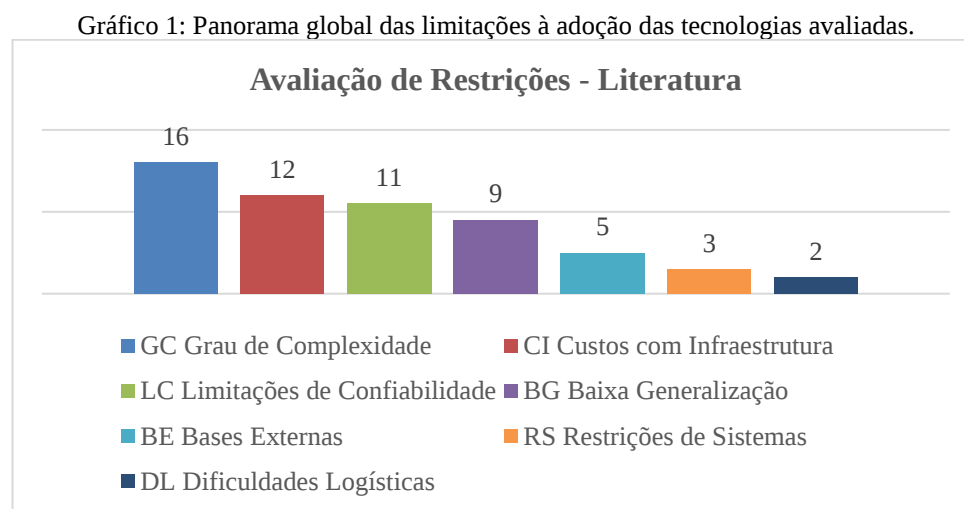
Tabela 3 – Classificação de restrições identificadas na literatura.

Classificação	Descrição	Repetições
GC	Grau de Complexidade	16
CI	Custos com Infraestrutura	12
BE	Bases Externas	5
RS	Restrições de Sistemas	3
BG	Baixa Generalização	9
LC	Limitações de Confiabilidade	11
DL	Dificuldades Logísticas	2

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A tabela apresenta uma avaliação agregada das tecnologias analisadas nesta pesquisa,

identificando, entre todas elas, as principais limitações recorrentes nas diferentes realidades investigadas, tanto em contextos nacionais quanto internacionais. Os resultados indicam que tais restrições possuem caráter transversal, não se restringindo, portanto, às particularidades da região amazônica. O gráfico correspondente fornece uma representação visual mais clara e sintética do panorama global das limitações identificadas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Dentre os pontos observados, nota-se que há uma grande repetição da restrição relacionada ao elevado grau de complexidade operacional, mostrando que a grande dificuldade apontada na literatura pela adoção da ferramenta de Planejamento e Controle se trata da pouca oferta de profissionais com a formação técnica específica para manusear corretamente e de forma eficiente as ferramentas estudadas.

Além disso, visualizando de maneira mais específica, as ferramentas classificadas pela literatura, avaliou-se em categorias. Onde, a primeira categoria, e a mais frequente entre os textos, é a do Building Information Modeling (BIM) e suas extensões, o qual utiliza ferramentas como Dynamo e Revit API, focada principalmente na quantificação automatizada e no planejamento de RCD durante as fases de projeto e demolição.

Enquanto segunda categoria, destaca-se a abrangência dos Sistemas Híbridos (Smart BIM/IoT), que integram o BIM com tecnologias como Internet of Things (IoT), GIS e GPS para rastreabilidade em tempo real e simulação logística. Sendo esta menos frequente do que a categoria acima mencionada.

A terceira e última categoria destacada inclui as tecnologias de Digitalização e Imagem,

como *Image-to-BIM* e *Scan-to-BIM*, empregadas na reconstrução de modelos e gerenciamento de volumes de RCD *as-built*. Apesar do potencial de automação das tecnologias mais avançadas (como as híbridas), há limitações comuns significativas para o mercado em geral: a complexidade e o alto custo de implantação, a exigência de uma infraestrutura de rede robusta e servidores, a dependência estrita da qualidade e do detalhamento do modelo BIM, e a intensidade de processamento e alto custo de *hardware* para as tecnologias de digitalização.

As pesquisas que analisam a cadeia de RCD na Amazônia indicam que a adoção de tecnologias digitais para planejamento e controle enfrenta limitações estruturais, logísticas e institucionais que diferem significativamente de outras realidades entre o Brasil e o mundo. Brandão et al. (2023) destacam que a fragmentação dos fluxos logísticos, as longas distâncias entre canteiros, centrais de triagem e aterros, além da dependência de modais fluviais, dificultam a operacionalização de sistemas que dependem de rastreabilidade contínua e atualização em tempo real.

De forma semelhante, Vasconcelos (2016) aponta que a ausência de cultura de gestão estruturada em muitas empresas da região representa um obstáculo à implementação de tecnologias como BIM, aplicativos de gestão ou sistemas baseados em sensores, que exigem treinamento e padronização de processos. Além disso, estudos sobre planejamento e controle de obras no Norte observam que a infraestrutura digital limitada, marcada por instabilidade de internet, baixa capacidade computacional e indisponibilidade de equipamentos, restringe o uso de ferramentas avançadas que dependem de conectividade constante, como plataformas Web, IoT ou modelos integrados de gestão.

Por outro lado, os mesmos autores ressaltam que a crescente pressão por regularização ambiental, a necessidade de redução de custos logísticos e o avanço gradual da capacitação técnica regional têm potencial para favorecer a adoção gradual de tecnologias digitais, especialmente aquelas que automatizam tarefas, reduzem desperdícios e melhoram o monitoramento do ciclo dos resíduos, tornando-se, assim, uma oportunidade estratégica para superar as deficiências estruturais existentes.

A avaliação de adequação ao contexto amazônico, confronta as limitações técnicas com os críticos fatores regionais. A região enfrenta desafios logísticos (longas distâncias e infraestrutura limitada) que restringem a eficácia de sistemas dependentes de rastreamento em tempo real (GPS/IoT).

Assim, a infraestrutura digital frágil e a limitada capacitação técnica local elevam a

barreira de entrada para sistemas que exigem servidores web, integração complexa de dados e alto grau de especialização, como os operadores de *Scan-to-BIM*. Ademais, a capacidade financeira limitada das empresas regionais torna inviável a adoção de sistemas de alto custo de *hardware* e *software*. Essa matriz de avaliação concluiu que os sistemas tecnológicos de maior complexidade e custo apresentam baixa viabilidade para a realidade amazônica, reforçando a necessidade de ferramentas que priorizem a disciplina operacional e a rastreabilidade simples em detrimento da alta tecnologia.

A adoção de ferramentas tecnológicas, objetiva equilibrar a precisão técnica do planejamento com a simplicidade de uma tecnologia de baixo custo (QR Code/App), que é mais resiliente às falhas de conectividade e GPS do que os sistemas baseados em IoT. Ao fornecer um fluxo de dados transparente e rastreável, o sistema auxilia na superação dos desafios de falta de integração e transparência entre os agentes (construtoras, transportadores), facilitando a implementação de uma Cadeia de Valor Reversa (CVR) mais robusta para RCD.

CONCLUSÃO

O presente estudo objetivou apresentar propostas verificadas na literatura de Sistemas Integrados de Planejamento e Controle de RCD com auxílio de tecnologias digitais, na intenção de contribuir para processos mais eficientes, sustentáveis e alinhados às demandas atuais da construção civil brasileira.

A partir do levantamento de pesquisas que tratassem a presente temática, enfatizando a utilização de tais tecnologias empregadas na construção civil no Brasil e no mundo, com um olhar especial na realidade da região Amazônica. Assim sendo, a partir das análises realizadas, infere-se a urgência em aprimorar a gestão de RCD na Região Norte, marcada pela insuficiência da legislação atual e por severas limitações logísticas, de infraestrutura digital e de desenvolvimento humano, sobretudo na região Amazônica do País.

Os fatores regionais dificultam a aplicação direta de sistemas tecnológicos de alta complexidade e custo, como os Smart BIM e as integrações IoT/GIS, amplamente discutidas na literatura internacional. A metodologia BIM foi validada como essencial para a fase de planejamento e quantificação precisa dos RCD, sendo a principal tecnologia para mitigação de desperdícios na fonte (fase de projeto). Contudo, a análise multicritério demonstrou que a viabilidade na Amazônia exige o uso pragmático do BIM, focado em rotinas de automação

(Dynamo/Python), de custo marginal mais baixo e que dependem menos de grandes investimentos em hardware e software especializados.

Destaca-se assim, a importância desta pesquisa, uma vez que a partir da mesma, faz-se possível pensarmos em formas de melhor adequar as tecnologias apresentadas ao longo do texto na região, de forma mais efetiva e respeitando todos os seus limites e possibilidades.

REFERÊNCIAS

- ANUPAMA, V. M.; ANAND. K. B.; RAMKRISHNAN, R.; HARIKRISHNAN, A. K. Application of lean principles for efficiency enhancement of BIM process. **Asian Journal of Civil Engineering**, p. 1-11, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1007/s42107-023-00628-y>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BAKCHAN, A.; FAUST, K. M.; LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: Integration with project and site planning. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 146, p.462-474, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.020>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BASTA, Andrew; SERROR, Mohammed Hassanien; MARZOUK, Mohamed. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability. **Automation in construction**, v. 111, p. 103064, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103064>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- BRANDÃO, R.; EDWARDS, D.J.; MELO, A.C.S.; MACEDO, A. N. Reverse supply chain practices for construction and demolition waste in the Brazilian Amazon: a multi-stakeholder view. **J Mater Cycles Waste Management**. ed. 25, pp. 2245–2261. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01680-1>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, v. 33, n. 6, jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- GIAMMETTI, M. T.; RIGILLO, M. Gestione del rifiuto da demolizione nel progetto di rigenerazione urbana. **Techne**, v. 22, p. 240-248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36253/techne-10615>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- GUERRA, B. C.; LEITE, F.; FAUST, K. M. 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. **Waste Management**, v. 116, p. 79-90, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.035>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- HEIGERMOSER, Daniel; SOTO, Borja García; ABBOTT, Ernest; CHUA. D. K. H. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 246-254, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>. Acesso em: 28 nov. 2025.

HU, X.; ZHOU, Y.; VANHULLEBUSCH, S.; MESTDAGH, R.; CUI, Z.; LI, J. Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM. **Journal of Building Engineering**, v. 49, n.15, p. 1-16, mai. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104058>. Acesso em: 28 nov. 2025.

HUANG, T.; KOU, S.; LIU, D.; LI, D.; XING, F. A BIM-GIS-IoT-Based System for Excavated Soil Recycling. **Buildings**, v. 12, n. 4, p. 1-17, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12040457>. Acesso em: 28 nov. 2025.

IACOVIDOU, E.; PURNELL, P.; LIM, M. K. The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution? **Journal of Environmental Management**, v. 216, n. 15, p. 214-223, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.093>. Acesso em: 28 nov. 2025.

JALAEI, F.; ZOGHI, M.; KHOSHAND, A. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM). **International Journal of Construction Management**, v.21, n. 12, p. 1-18, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1583850>. Acesso em: 28 nov. 2025.

KANG, K.; BESKLUBOVA, S.; DAI Y.; ZHONG, R. Y. Building demolition waste management through smart BIM: A case study in Hong Kong. **Waste Management**, v. 143, n. 15, p. 69- 83, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.027>. Acesso em: 28 nov. 2025.

KIM, Young-Chan; HONG, Won-Hwa; PARK, Jae-Woo; CHA, Gi-Wook. An estimation framework for building information modeling (BIM)-based demolition waste by type. **Waste Management & Research**, v. 35, p. 1285-1295, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X17736381>. Acesso em: 28 nov. 2025.

LIMA, Patricia Rodrigues Balbio; RODRIGUES, Conrado de Souza; POST, Jouke M. Integration of BIM and design for deconstruction to improve circular economy of buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 80, p. 108015, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108015>. Acesso em: 28 nov. 2025.

LINS, Eduardo José Melo; PALHA, Rachel Perez; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Metodologia BIM aplicada à gestão de RCD: uma revisão sistemática. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2201>. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2201>. Acesso em: 27 nov. 2025.

LIU, Z.; OSMANI, M.; DEMIAN, Peter; BALDWIN, Andrew N. The potential use of BIM to aid construction waste minimalisation. In: CIB W78-W102, **International Conference** –Sophia Antipolis, France, 2011, pp. 1-11. (texto solicitado via ResearchGate, indisponível para acesso aberto - <https://sl1nk.com/mtszej>).

LU, W.; WEBSTER, C.; CHEN, K.; ZHANG, X.; CHEN, X. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality. ENTAC2022 - Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável 13 Renewable and Sustainable.

Energy Reviews, v. 68, n. 1, p. 587-595, fev. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.029>. Acesso em: 28 nov. 2025.

LUZ, Fernanda Catarina Ribeiro da; PALHA, Rachel Perez. Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–14. DOI: 10.46421/entac.v20i1.5849. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5849>. Acesso em: 27 nov. 2025.

NGUYEN, T. A.; NGUYEN, P. T.; DO, S. T. Application of BIM and 3D Laser Scanning for Quantity Management in Construction Projects. **Advances in Civil Engineering**, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8839923>. Acesso em: 28 nov. 2025.

OLIVEIRA, Fabrício de Almeida; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado; ROSA, Carolina Caldas Neves; SANTOS, Débora de Gois. SEIXAS, Renato de Melo. Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 157-176, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000400465>. Acesso em: 27 nov. 2025.

OSTROWSKA-WAWRYNIUK, Karolina. Prefabrication 4.0: BIM-aided design of sustainable DIY-oriented houses. **International Journal of Architectural Computing**, v. 19, n. 2, p. 142-156, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1177/1478077120966496>. Acesso em: 28 nov. 2025.

PELLEGRINI, L.; CAMPI, S.; LOCATELLI, M.; PATTINI, G.; GIUDA, G. M. D.; TAGLIABUE, L. V. Digital Transition and Waste Management in Architecture, Engineering, Construction, and Operations Industry. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, p. 1-21, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.576462>. Acesso em: 28 nov. 2025.

RODRÍGUEZ, Rocío Quiñones; LLATAS, Carmen; MONTES, Maria Victoria; ALBALÁ, Isidro Cortés. Quantification of construction waste in early design stages using bim-based tool. **Recycling**, v. 7, n. 5, p. 63, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/recycling7050063>. Acesso em: 28 nov. 2025.

SOLÍS-GUZMÁN, Jaime; MARRERO, Madelyn; MONTES, Maria Victoria; ARELLANO, Antonio Ramírez de. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste management**, v. 29, n. 9, p. 2542- 2548, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>. Acesso em: 28 nov. 2025.

SONG, Yiliao; WANG, Yong; LIU, Feng; ZHANG, Yixin. Development of a hybrid model to predict construction and demolition waste: China as a case study. **Waste Management**, v. 59, p. 350-361, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.009>. Acesso em: 28 nov. 2025.

THABET, Walid; LUCAS, Jason; SRINIVASAN, Sai. Linking life cycle BIM data to a facility management system using Revit Dynamo. **Organization, technology & management in construction: an international journal**, v. 14, n. 1, p. 2539- 2558, 2022. DOI: <http://doi.org/10.2478/otmcj-2022-0001>. Acesso em: 28 nov. 2025.

VASCONCELOS, Alana Natália Sales. A INFLUÊNCIA DA TECNOLOGIA BIM NA GERAÇÃO MINIMIZADA E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL. **Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso**. Universidade Federal do Ceará. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47022>. Acesso em: 27 nov. 2025.

WANG, T. K.; WU, Z.; LUO, C. Multi-participant construction waste demolition and transportation decision-making system. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 170, p. 1-13, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105575>. Acesso em: 28 nov. 2025.

YANG, Bin et al. A bim-based approach to automated prefabricated building construction site layout planning. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 26, n. 4, p. 1535-1552, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12205-021-0746-x>. Acesso em: 28 nov. 2025.