

# PRÊMIO ADEMI DE INOVAÇÃO ACADÊMICA 2022

E-BOOK  
MELHORES TRABALHOS



**ADEMI** BAHIA

ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS  
DO MERCADO IMOBILIÁRIO DA BAHIA

## **EDITORIAL**

Premiar novos talentos e apresentar para o mercado imobiliário o olhar inovador do público jovem, que carrega a evolução e a transformação da nossa sociedade, teve um gosto ainda mais especial no 25º Prêmio ADEMI-BA. Depois de dois anos sem acontecer devido à pandemia, a consagrada premiação do mercado imobiliário mostrou que segue revelando talentos, ampliando o reconhecimento do setor e promovendo a aproximação entre o mercado e a academia.

Desde 2018, o Prêmio Ademi Bahia incorporou a categoria Inovação Acadêmica, abrindo as portas do mercado para estudantes de graduação e pós-graduação das áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção com temas que permeiam o nosso mercado. Os trabalhos apresentados neste e-book propõem ideias e soluções que acompanham as transformações que impactam o nosso segmento e que são vivenciados em todo o mundo. Com isso, justificamos a escolha do vencedor de 2022, o estudante João Félix Barreto Neto, com seu trabalho intitulado "SMBuilding: manual virtual inteligente para o usuário de edificações", sob a orientação da professora Elaine Pinto Varela Alberte.

Desejamos que esse e todos os trabalhos aqui publicados sirvam de inspiração para fomentar as boas práticas, ampliar a segurança e promover ainda mais qualidade para construtoras, incorporadoras e todas as pessoas que delas façam parte. Parabenizamos a todos os estudantes, corpo docente e instituições de ensino, que buscam a troca entre teoria e prática, conhecimento e experiência, contribuindo para o desenvolvimento e enriquecimento de todos os entes envolvidos. O Prêmio Inovação Acadêmica já faz parte da nossa história e continuará abrindo caminhos nas próximas edições. Esperamos vocês na 26ª edição do Prêmio ADEMI-BA!

Boa leitura!

**Cláudio Cunha**

Presidente da Ademi-BA



E-BOOK MELHORES TRABALHOS - COLETÂNEA

**PRÊMIO ADEMI  
DE INOVAÇÃO  
ACADÊMICA  
2022**

SALVADOR - BAHIA  
2022

Copyright © ADEMI-BA

Todos os direitos desta edição reservados.

### **Coordenação Editorial**

Viviane Fonseca

### **Projeto Gráfico**

Mandala Marketing

### **Foto Capa**

Istock

### **Comissão Julgadora do Prêmio Ademi**

**Ana Gabriela Saraiva** – Universidade do Estado da Bahia – UNEB

**Tatiana Dumet** – Universidade Federal da Bahia – UFBA

**Elton Góes** – Faculdade de Tecnologia e Centro Universitário SENAI-CIMATEC

**Carlos Bomfim** – Faculdade de Tecnologia e Centro Universitário SENAI-CIMATEC

**Júlia Neves** – Universidade Católica de Salvador – UCSAL

**Paula Erica Berton Lima** – Universidade Salvador – UNIFACS

### Ficha Catalográfica

---

M884m João Félix Barreto Neto, Amanda da Silva Barbosa, João Lucas Torres Nogueira, Luciano de Brito Staffa Júnior, Jessica Aida Pereira da Silva, Bruna Bitencourt Costa, Mariana Henry Pereira, Vitor Laranjeira Caldini, Nilson Santana de Amorim Júnior, Diana Dayse Mariano de Albuquerque, Samara Queiroz dos Santos, Caio Mendes Lima, Bruno Falcón Silveira, Bruno Leão de Brito, Elaine Pinto Varela Alberte, Dayana Bastos Costa, Daniel Vêras Ribeiro, Moisés Ferreira Eleutério Silva, Emerson de Andrade Marques Ferreira.

*Título: Prêmio Ademi de Inovação Acadêmica 2022.*

*Tipo de Suporte: E-book. Formato E-book: PDF, 2022.*

128 páginas

**ISBN: 978-65-999483-0-5**

**Prefixo Editorial: 999483**

1. Coletânea – Autores diversos – 2. Teses de graduação e pós-graduação – Bahia

CDD 869.9

---

Brasil  
Brazil



# SUMÁRIO

## PROJETOS DESTAQUE

SMBUILDING: MANUAL VIRTUAL INTELIGENTE PARA O USUÁRIO DE EDIFICAÇÕES..... 7

**Aluno:** João Félix Barreto Neto

**Orientadora:** Elaine Pinto Varela Alberte

VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE REQUISITOS DE PROJETOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA COM USO DE BIM E PROGRAMAÇÃO VISUAL ..... 19

**Aluna:** Amanda da Silva Barbosa

**Orientadora:** Dayana Bastos Costa

PLATAFORMA WEB PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS PARA FINS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA COM USO DE DRONE E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL ..... 32

**Alunos:** João Lucas Torres Nogueira e Luciano de Brito Staffa Júnior

**Orientador:** Dayana Bastos Costa

MÉTODO PARA AUTOMATIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE MODELOS BIM 4D INTEGRADO COM PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCALIZAÇÃO E SISTEMA LAST PLANNER®.....44

**Aluno:** Bruno Falcón Silveira

**Orientadora:** Dayana Bastos Costa

MELHORIA DA QUALIDADE DO AR A PARTIR DO USO DE ARGAMASSA AUTOLIMPANTE PRODUZIDA COM RESÍDUO INDUSTRIAL ..... 58

**Alunos:** Nilson Santana de Amorim Júnior e Diana Dayse Mariano de Albuquerque

**Orientador:** Daniel Vêras Ribeiro

BUILDING ANALYTICS: BUSINESS INTELLIGENCE PARA GERENCIAMENTO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA.... 70

**Aluno:** Vitor Laranjeira Caldini

**Orientadora:** Elaine Pinto Varela Alberte

PLATAFORMA PARA DESENVOLVIMENTO E DIVULGAÇÃO DE INSUMOS BIM PARA FORNECEDORES E ESPECIFICADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL ..... 83

**Alunos:** Jessica Aida Pereira da Silva e Bruna Bitencourt Costa

**Orientador:** Bruno Leão de Brito

SMART FOR FACILITIES: O USO DO BIM PARA GERENCIAMENTO DE ATIVOS ENERGÉTICOS DE EDIFICAÇÕES..... 95

**Aluna:** Mariana Henry Pereira

**Orientadora:** Elaine Pinto Varela Alberte

SMART TRACKING 3D - SISTEMA DE MONITORAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DO BIM, IOT E RFID ..... 107

**Aluno:** Caio Mendes

**Orientador:** Emerson de Andrade Marques Ferreira

TECNOLOGIA LIDAR DE MAPEAMENTO 3D PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS E PROCESSOS DE FACHADAS INDUSTRIALIZADAS EM ACM ..... 118

**Aluna:** Samara Queiroz dos Santos

**Orientadora:** Moisés Ferreira Eleutério Silva



# PROJETOS DESTAQUE



# SMBUILDING: MANUAL VIRTUAL INTELIGENTE PARA O USUÁRIO DE EDIFICAÇÕES

*Aluno:* João Félix Barreto Neto  
*Orientador:* Elaine Pinto Varela Alberte



## RESUMO

Apesar de a manutenção adequada de uma edificação ser fundamental para sua durabilidade e valorização e, portanto, de grande interesse para as partes envolvidas (construtores e usuários), essa prática ainda encontra barreiras culturais a serem superadas. O grande desafio para os construtores está na comunicação eficiente das orientações de uso, operação e manutenção aos usuários, permitindo o controle e rastreabilidade das ações. Já os usuários tendem a negligenciar os cuidados relacionados à edificação por falta de conscientização sobre importância e benefícios e a falta de informações completas e acessíveis. O presente trabalho apresenta e analisa uma proposta de manual do proprietário virtual, desenvolvida em uma plataforma totalmente acessível em smartphones, tanto para os construtores quanto usuários (síndicos e proprietários). Para tal, um protótipo foi desenvolvido a partir de revisão bibliográfica e entrevistas semiestruturadas com agentes intervenientes do processo (construtor e síndico/usuário). A relevância, desempenho e praticidade da plataforma foram comprovadas a partir da percepção de potenciais usuários, utilizando-se metodologia NPS (Net Promoter Score). Amparado por um CMS (Content Management System), com informações indexadas em um servidor com banco de dados, essa ferramenta não apenas disponibiliza informações de maneira ágil e acessível ao usuário. Permite uma gestão da informação pós-entrega entre construtora, síndicos e proprietários que soluciona problemas cotidianos e contribui para que construtoras tenham melhor interação com seus clientes na etapa de pós-entrega do empreendimento, produzindo um banco de dados de grande relevância para a identificação de oportunidades de melhoria na qualidade de projetos futuros.

**Palavras-chave:** Construção civil. Inovação. Manual do usuário. Uso, operação e manutenção. Edificações.

## 1. INTRODUÇÃO

Na construção civil, os recursos tecnológicos vêm sendo cada vez mais utilizados, facilitando os cálculos estruturais, estudos de projeto e o planejamento de obras.

Observa-se, contudo, uma necessidade por maiores avanços tecnológicos que permitam a interação entre os agentes intervenientes na etapa de uso, operação e manutenção da edificação (construtores, incorporadores e usuários) (MOREIRA, 2018).

Na entrega da edificação, o construtor deve apresentar ao cliente o seu manual de uso, operação e manutenção (MUOM), que deve conter informações suficientes e adequadas, de acordo com as normas pertinentes, sobre a montagem, uso e riscos de seus produtos (ABNT NBR 15.575-1:2013,

ABNT NBR 14.037:2014 e ABNT NBR 5.674:2014). O MUOM, por sua vez, é de grande relevância para os proprietários do imóvel/condomínio, pois orienta o usuário sobre as ações necessárias para valorização do seu bem no mercado imobiliário ao longo do tempo, interferindo diretamente na estimativa da vida útil da edificação, além de ser um instrumento de garantia de seus direitos de consumidor, caso a edificação não apresente o desempenho prometido.

E, nesse sentido, a construtora pode vir a ser penalizada por informações insuficientes ou inadequadas sobre a sua utilização e riscos. Em contrapartida, o uso e operação inadequados, assim como a falta de manutenção devidamente apresentada de acordo com as normas pertinentes, isenta as responsabilidades do construtor quanto aos procedimentos assistenciais. O uso inadequado de um bem pode eximir o construtor sobre as responsabilidades de defeitos e anomalias que vierem a ocorrer no sistema negligenciado (ABNT NBR 15.575-1:2013).

Nesse contexto, o grande reto dos construtores e incorporadores está na disponibilização eficiente das orientações construtivas e de manutenção aos usuários, permitindo o controle e rastreabilidade das ações. Os usuários tendem a ignorar os cuidados corretos de uso, operação e manutenção da edificação tanto por falta de conscientização sobre importância e benefícios quanto por falta de acesso a informações completas e acessíveis.

A ineficiência desse processo pode gerar desde dificuldades na solução de problemas simples de manutenção corriqueira do imóvel até problemas mais graves de comprometimento estrutural e de desempenho da edificação por intervenções inadequadas no imóvel. Como exemplos extremos recentes, tem-se os casos do Edifício Andrea e do Edifício Versailles, ambos em Fortaleza. No caso do Edifício Andrea, o desabamento foi integral, e um dos fatores que contribuíram para esse fato, além da intervenção equivocada ocorrida nos pilares da base do edifício, foi a falta de uma manutenção periódica adequada (PEFOCE, 2020). Já no Edifício Versailles, ocorreu o desabamento de uma varanda, que produziu duas vítimas fatais, que poderia ter sido evitado, segundo laudo, caso as inspeções periódicas preventivas tivessem sido realizadas (SENGE-CE, 2015).

Com o advento do conceito de Indústria 4.0 na Construção, no entanto, observa-se a oportunidade de uso da tecnologia da informação, sistemas de comunicação e databases para análise de dados, empregando até mesmo Inteligência Artificial, para apoiar a relação do construtor com o proprietário após entrega do imóvel.

Este projeto apresenta e analisa uma proposta de MUOM virtual, em uma plataforma totalmente acessível em smartphones, tanto para os construtores quanto usuários (síndicos e proprietários), denominada neste documento de SMBuilding.

Amparado por um CMS (Content Management System), com informações do manual indexadas em um servidor com banco de dados, o SMBuilding disponibiliza informações necessárias que facilitam os processos de manutenção predial, através de QRCODE/RFID disponível nas estruturas e equipamentos, e pelo aplicativo web aonde todo o documento estará acessível. A ferramenta também possibilita o envio de alertas para possíveis problemas e manutenções periódicas, para que os usuários tenham mais controle e entendimento do processo de manutenção e uso de seu imóvel. Finalmente, também mantém instrumentos de relação entre construtor e usuário através de um FAQ (frequently asked questions), com perguntas mais frequentes, formulários de contato, e abertura



de chamados de manutenção corretiva, contando, ainda, com gerenciamento inteligente dos contatos das subempreiteiras e terceirizados.

Para análise da proposta, foi desenvolvido um protótipo da plataforma, com um formato simplificado do produto final esperado. A validação do protótipo foi realizada a partir da percepção dos pesquisadores e de potenciais usuários da ferramenta (construtoras, síndicos e proprietários), que avaliaram a relevância, o desempenho e a praticidade da plataforma.

Busca-se, assim, uma ferramenta de fácil acesso que não somente facilite a resolução de problemas cotidianos relacionados ao uso, operação e manutenção das instalações da edificação, mas que proporcione uma plataforma de interação eficiente e responsável entre construtora, síndicos e proprietários para gestão da informação pós-entrega do empreendimento.

## **2. USO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES: DIRETRIZES NORMATIVAS, PANORAMA ATUAL E TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS**

O Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990) define produto como “Qualquer bem, móvel ou imóvel, material ou imaterial”. Indica ainda que: “O termo de garantia ou equivalente deve ser padronizado e esclarecer, de maneira adequada, em que consiste a mesma garantia, bem como a forma, o prazo e o lugar em que pode ser exercitada e os ônus a cargo do consumidor, devendo ser-lhe entregue, devidamente preenchido pelo fornecedor, no ato do fornecimento, acompanhado de manual de instrução, de instalação e uso do produto em linguagem didática, com ilustrações”. Aplicando essa lei na área da edificação e tomando também como base a ABNT NBR 14.037:2014, significa que os usuários de edificações têm o direito de receber um MUOM das instalações e que há um conteúdo mínimo obrigatório.

Além da ABNT NBR 14.037:2014, que especifica o conteúdo para a criação do MUOM, assim como recomendações para sua elaboração e apresentação, existem outras normas auxiliares para o acompanhamento de uma edificação, como as normas ABNT NBR 15.575-1:2013, ABNT NBR 16.280:2015 e ABNT NBR 5.674:2012.

Segundo a ABNT NBR 15.575-1:2013, conhecida como norma de desempenho, cabem aos construtores e incorporadores elaborar o MUOM ou documento similar, atendendo às normas ABNT NBR 14.037:2014 e ABNT NBR 5.674:2012, e que deve ser entregue ao proprietário da unidade quando da entrega da edificação, cabendo também elaborar o manual das áreas comuns, que deve ser entregue ao condomínio.

A ABNT NBR 16.280:2015, por sua vez, é uma norma que regula as reformas em edifícios e/ou unidades. Entre os conceitos existentes, a reforma de edificação é definida como uma “alteração nas condições da edificação existente com ou sem mudança de função, visando recuperar, melhorar ou ampliar suas condições de habitabilidade, uso ou segurança, e que não seja manutenção”. Nela, há o preceito de que, em condomínios, deve-se informar para o responsável legal deste sobre a reforma, e ela só pode ser iniciada após documentação técnica emitida por um profissional capacitado. Também é previsto que qualquer reforma deverá promover a alteração do MUOM da edificação. Essa norma foi criada justamente para evitar que reformas provoquem alterações estruturais que comprometam a

segurança da construção e, conseqüentemente, da comunidade pertencente a ela (ABNT NBR 16.280:2015).

Por fim, a ABNT NBR 5.674:2012 é a norma responsável pelas manutenções em edificações, assim como o sistema de gestão das manutenções. A norma divide as manutenções em 3 tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção rotineira. Nela também é prevista a criação de um programa de manutenções, assim como informações que este deverá considerar.

O MUOM do proprietário de edificações, em especial, atualmente apresenta conteúdo mais detalhado e atualizado, para atendimento das diretrizes normativas mais recentes. Contudo, embora o conteúdo tenha sido atualizado, o formato desse instrumento tem permanecido igual, fazendo com que este tenha se tornado obsoleto e, de certa forma, de difícil compreensão por parte dos usuários. Segundo Moreira (2018), a maior parte dos manuais entregues atualmente não possui a totalidade do conteúdo obrigatório de acordo com a NBR 14.037:2014. Sobre a confecção e distribuição do MUOM, a autora indica que sua confecção ainda é efetuada, porém sua entrega é geralmente realizada com uma cópia impressa ou ainda em formato de CD/DVD. Pouco é disponibilizado em aplicativos web ou em websites.

Todavia, com o avanço das tecnologias disponíveis e o advento da Indústria 4.0 em vários ramos da indústria, é possível perceber com mais facilidade a obsolescência do formato do manual. Ou seja, é possível utilizar dessas novas tecnologias presentes atualmente para melhorar o formato do manual e facilitar o seu uso pelos usuários.

Bahrin et al. (2016) identificam como um dos principais aspectos da Indústria 4.0 a interconexão entre humanos, objetos e máquinas, o que permite a tomada de decisão e estatísticas em tempo real.

Entre as tecnologias de base da Indústria 4.0, as quais permitem esse sistema de interconexão, destacam-se as seguintes:

**Internet das Coisas (IoT):** representa a integração entre sensores e computação em um ambiente na rede através de comunicação sem fio (TAO et al., 2018). Permite detecção e atuação em tempo real, além de velocidade na transmissão de dados, permitindo uma colaboração eficiente entre as partes (LU; CECIL, 2016).

**Big Data:** análise de Big Data e tecnologias suportam aquisição de dados em tempo real de várias fontes diferentes, análise compreensiva dos dados e tomada de decisão em tempo real, podendo permitir a melhor flexibilidade da produção, qualidade dos produtos e manutenção preditiva dos equipamentos de forma mais apurada (BAHRIN et al., 2016; STRANGE; ZUCHELLA, 2017; PREUVENEERS; ILIE-ZUDOR, 2017).

**Utilização de Nuvem:** tecnologias de nuvem podem ser amplamente utilizadas na Indústria 4.0 para aumento do compartilhamento de dados entre diferentes setores da empresa, aumentando a performance do sistema (como agilidade e flexibilidade) e reduzindo custos por tornar os sistemas on-line (LIU; XU, 2017; TAO et al., 2014). A combinação da utilização de IoT e de nuvem permite a conexão de vários equipamentos, coletando grande quantidade de dados, os quais resultam em armazenamento em Big Data (LU, 2017; LIU, 2013).

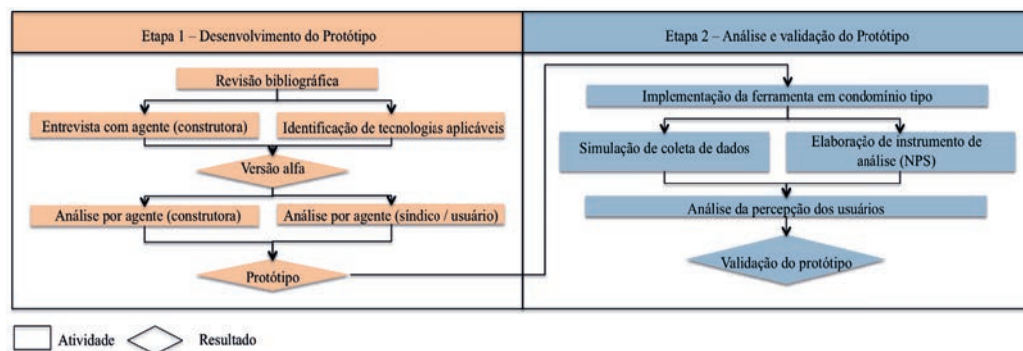


QR Code: tecnologia que permite o armazenamento de todos os tipos de caracteres alfanuméricos, com uma capacidade de armazenamento de até 7089 caracteres (DENSO WAVE, 2020), permitindo a leitura em 360º com alta velocidade.

Destaca-se aqui o surgimento de inúmeras “Construtechs” e “Proptechs”, startups focadas em solucionar os problemas existentes na indústria da construção civil, impulsionadas pelo desenvolvimento da Indústria 4.0 e pela inserção dessas tecnologias nesse mercado. Segundo dados da Terracota Ventures (2019), atualmente existem 500 construtechs e proptechs em exercício no país, sendo 36 atuantes na área de gestão de condomínios. Desse universo, a grande maioria busca soluções tecnológicas com foco exclusivo na gestão condominial, limitando-se à gestão das informações internas dos usuários do empreendimento. Além dessas, há também 7 atuantes na área de gestão e manutenção de facilities, tendo seus focos em várias áreas de atuação, como gestão de ativos, serviços de limpeza e integração entre relacionamento com o cliente e infraestrutura de assistência técnica. Em ambos os segmentos, as empresas não preveem uma interconexão de seus sistemas com a construtora de forma que busque o tratamento dessas informações de feedback de usuários e gestão de ativos de modo integrado.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

O presente estudo adota a metodologia de pesquisa DSR (Design Science Research), que prevê passos de concepção, sugestão e desenvolvimento (previstos na Etapa 1 – Desenvolvimento do Protótipo) e de avaliação e conclusão do artefato em questão (previstos na Etapa 2 – Avaliação e Validação do Protótipo). A Figura 1 apresenta o fluxograma das atividades desenvolvidas em cada etapa da pesquisa.



**Figura 1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas**

Na etapa de desenvolvimento do protótipo (Etapa 1), inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o processo de pós-construção de um edifício, assim como as principais normas técnicas vigentes existentes no Brasil. Ainda nessa atividade, foram identificadas as tecnologias existentes e aplicáveis ao projeto. Em paralelo, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com profissional do setor, com o objetivo de refinar o conhecimento dos processos atuais, além de identificar “GAPs” no processo e ferramentas já utilizadas para o acompanhamento pós-construção, comunicação entre as partes envolvidas e manutenção e reforma das edificações.

A partir desses dados, foi desenvolvido o escopo da plataforma e uma versão alfa desta, limitado à parte visual, estrutura e funcionalidades básicas, como exibição e armazenamento do MUOM. Essa versão alfa foi apresentada a dois agentes intervenientes do processo (um construtor e um síndico/ usuário) para discussão e sugestão de alterações no escopo e na plataforma. Por meio de entrevista semiestruturada, esses indivíduos analisaram as rotinas desenvolvidas na versão preliminar da

plataforma. Com todos os dados e sugestões recolhidos, foi desenvolvido um protótipo com maior grau de complexidade, incluindo ações de gerenciamento da manutenção e de reforma. Detalhes do protótipo são apresentados na secção 4.

Na segunda etapa, o protótipo foi alimentado com dados de um condomínio residencial tipo situado na cidade de Salvador, com 26 unidades habitacionais, áreas comuns convencionais (playground, piscina e salão de festas), mais de 25 anos de antiguidade e autogestão condominial assistida (síndico e conselho realizam os trabalhos internos, com apoio de empresa para a gestão da contabilidade e contratos).

Para a avaliação do protótipo, foram definidos 3 constructos:

- Relevância (C1): se o aspecto em análise (ferramenta, processo, rotina ou informação) é importante e útil para o observador;
- Desempenho (C2): se os resultados observados no aspecto em análise (ferramenta, processo, rotina ou informação) alcançam o objetivo pretendido de modo eficaz e eficiente;
- Praticidade (C3): se a interface do aspecto em análise (ferramenta, processo, rotina ou informação) é amigável e intuitiva, sendo de uso fácil para o observador.

Os constructos foram avaliados a partir da percepção de potenciais usuários da plataforma (Secção 5), utilizando-se NPS (Net Promoter Score), metodologia de mensuração da satisfação/lealdade de clientes no pós-venda (REICHHELD, 2003).

Cinco potenciais usuários da plataforma (Tabela 1) foram apresentados à ferramenta, convidados a operar o protótipo, realizando rotinas preestabelecidas, e a responder 15 questões em escala Likert de 1 a 10.

Essas perguntas foram divididas em 5 blocos de 3 perguntas, cada uma relacionada a um constructo abordado. Os blocos de perguntas referem-se, por sua vez, ao conteúdo da plataforma: B1: Disponibilização de documentos pela plataforma; B2: Gerenciamento das manutenções preventivas; B3: Gerenciamento das manutenções corretivas; B4: Controle de reformas; e B5: Plataforma em geral.

Assim, para referência das perguntas, foi utilizada a anotação P B(n).C(n), no caso Pergunta Bloco(n). Constructo(n).

Em todas as perguntas, o entrevistado era incentivado a justificar sua resposta. Todas as respostas foram gravadas com o consentimento do entrevistado, sendo posteriormente analisadas de forma integrada, considerando as notas dadas pelo indivíduo para cada pergunta. Sobre a análise das notas, considerou-se que:

- As respostas entre 9 e 10 sinalizam que o usuário observou um ganho real com o aspecto em análise, que pode implicar em uma melhoria relevante na qualidade do seu dia a dia;
- As respostas entre 7 e 8 sinalizam que o usuário indica interesse real no aspecto em análise, mas não a considera fundamental para o seu dia a dia;
- As respostas entre 0 e 6 sinalizam que o usuário não possui interesse/necessidade sobre o aspecto em análise.



**Tabela 1 - Perfil dos entrevistados**

Código	Gênero	Idade (anos)	Profissão	Tempo como morador (anos)	Tempo como síndico (anos)
E1	M	44	Engenheiro Civil	4	Não
E2	M	58	Administrador/Corretor	16	Não
E3	F	49	Odontóloga	15	Não
E4	F	47	Médica	12	2,5
E5	M	47	Médico	12	Não

## 4. PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

O protótipo desenvolvido consiste em uma plataforma on-line acessível em versão para smartphone, tablet ou computador para gerenciamento da informação da edificação na etapa pós-obra. A ferramenta conecta de forma on-line construtoras aos responsáveis legais (síndicos) das respectivas edificações e seus usuários.

A plataforma é dividida em 2 macroseções, voltadas a cada um dos públicos-alvo, o “Lado da construtora” e o “Lado do usuário”, sendo este envolvendo também uma “Área do síndico” para auxílio deste na gestão do condomínio. Ambas as seções estão conectadas por um banco de dados, permitindo o armazenamento e visualização de informações atualizadas. Além de acesso direto ao conteúdo por link, a plataforma permite a criação de QR Codes que podem ser disponibilizados em áreas de interesse do condomínio, para acesso direto da informação pertinente, com o uso de leitor apropriado.

A comunicação entre os usuários da plataforma foi baseada no fluxo de informações apresentado na figura 2, onde é possível determinar os agentes emissores e receptores de cada etapa do processo. Todos os processos e funcionalidades da plataforma foram pensados para auxiliar no gerenciamento e acompanhamento da edificação no pós-obra, ou seja, mesmo após o fim da garantia de acompanhamento, a ferramenta continuará ativa para a edificação cadastrada.

O “Lado da construtora” é a seção pela qual é possível visualizar todo o conteúdo da ferramenta destinada às edificações cadastradas pela construtora. A partir da ferramenta, a construtora disponibiliza de forma eficiente e inteligente todas as informações do MUOM da edificação (tanto áreas comuns quanto privativas). Em contrapartida, a ferramenta também permitirá que a construtora possa controlar, coletar e tratar todas as informações acerca da manutenção preventiva e corretiva da edificação, tendo a possibilidade de criar, ao longo do tempo, um robusto banco de dados sobre assistência técnica dos seus empreendimentos. Assim, a partir desses dados, a construtora poderá identificar oportunidades de melhoria de seus processos em empreendimentos futuros.

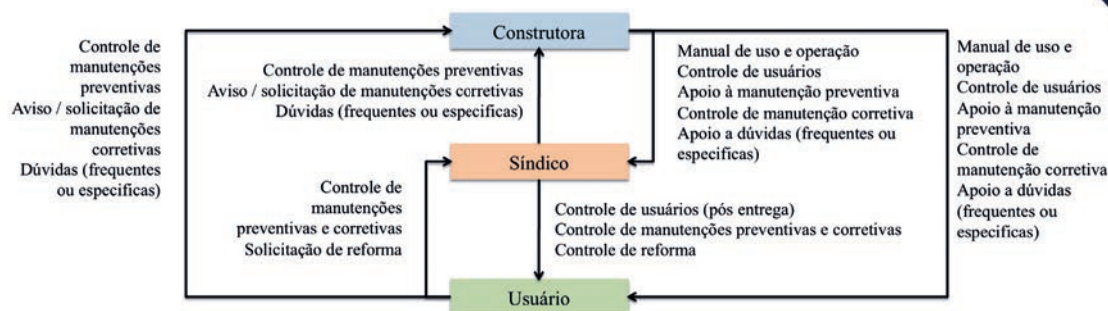


Figura 2 – Fluxo de informações da ferramenta proposta

O “Lado do usuário” é onde os usuários visualizam as informações do MUOM da sua unidade, recebem alertas para manutenções preventivas, solicitam manutenções corretivas à construtora (período de garantia), comunicam ao síndico ações de reforma conforme NBR 16.280:2015, bem como tiram dúvidas frequentes ou específicas.

A “Área do síndico” é uma interface específica dentro do “Lado do usuário” voltada para o síndico (seja autogestão, gestão terceirizada ou síndico profissional). Nessa área, o síndico ou gestor visualiza as informações do MUOM de toda a edificação, recebe alertas para manutenções preventivas, controla as manutenções preventivas e corretivas, estando a cargo da construtora ou não, controla as ações de reforma realizadas nas unidades privativas, bem como tiram dúvidas frequentes ou específicas.

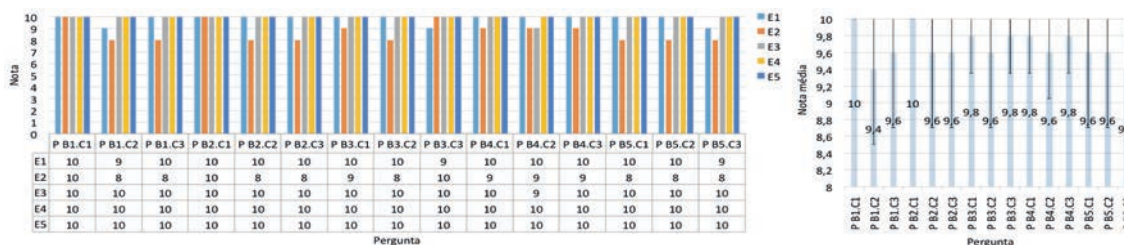
A partir do uso contínuo da plataforma, é possível a obtenção controlada e sistemática dos seguintes dados (Quadro 1).

#### Quadro 1 - Dados disponibilizados pela plataforma

INFORMAÇÃO / INDICADOR	AGENTE INTERESSADO	POTENCIAL DE USO
Dados da edificação	Construtora	Informação por tipo e área da edificação / melhoria de processos internos
Documentação digital da edificação	Construtora	Armazenamento de documentação / Diferencial para venda
	Síndico / Usuário	Download de arquivos / Acesso seletivo e instantâneo à informação
Manual do proprietário	Construtora	Cumprimento de norma
	Síndico / Usuário	Manutenção adequada da edificação / unidade privada
Manutenções corretivas (históricos)	Construtora	Controle de garantia / Respaldo Jurídico / melhoria de processos
	Síndico / Usuário	Controle de garantia / controle interno / transparência
Manutenções corretivas (quantidade e causas)	Construtora	Melhoria de processos internos
Manutenções preventivas (históricos)	Construtora	Controle de garantia / Respaldo Jurídico
	Síndico / Usuário	Controle de garantia / controle interno / Transparência / Cumprimento de norma
Alertas de manutenção preventiva	Síndico / Usuário	Aviso de necessidade de manutenção / Manutenção da garantia
Controle de reforma (registros e documentos)	Construtora	Controle de intervenções / Controle de garantia / Respaldo jurídico
	Síndico	Controle de intervenções e entrada de operários / Respaldo jurídico
Controle de reforma (históricos)	Síndico / Usuário	Controle interno / Transparência dos dados
Perguntas de usuários	Construtora	Feedback para melhoria de processos internos/ Acompanhamento pós-venda
Resposta da construtora/ FAQ	Usuário	Transparência
	Construtora	Impacto positivo no NPS / Aprimoramento de pós-venda

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresenta-se a avaliação da aplicabilidade da plataforma a partir dos resultados das entrevistas realizadas com os potenciais usuários que foram convidados a operar a plataforma. As respostas por entrevistado, assim como média das respostas e desvio-padrão são apresentados na Figura 3.

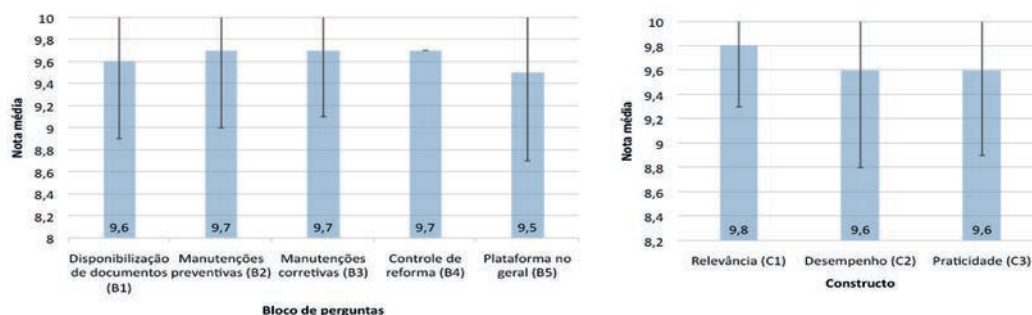


**Figura 3 – Nota atribuída por pergunta e entrevistado (gráfico à esquerda) e valor médio por pergunta (gráfico à direita)**

Observa-se que todos os possíveis usuários verificaram um ganho real com a plataforma em todos os aspectos abordados pela entrevista. Quatro dos cinco entrevistados avaliaram que a plataforma pode apresentar uma melhoria significativa na qualidade do dia a dia, sendo que dois (E4 e E5) deram nota 10 a todos os quesitos da entrevista. O entrevistado E2 foi o único que indicou notas inferiores a 9 nas perguntas realizadas. Porém, ao justificar suas notas, este avaliou a plataforma como “muito boa” e que, como a versão apresentada a ele é “apenas um protótipo”, então “há espaço para melhoria”. E2 também justifica sua resposta por sua idade e por não gostar de usar aplicações pelo celular, porém, se houver necessidade, já há um uso “amigável”.

Os entrevistados E3 e E4 sinalizam que a plataforma pode muito bem ser utilizada e funciona muito bem, desde que haja transparência e agilidade, tanto pela construtora quanto pelos usuários. E3 e E5, por sua vez, recomendaram a adoção de um termo de responsabilidade para tornar obrigatório o uso da ferramenta como principal forma de comunicação na edificação e dos usuários com as construtoras, uma vez que o condomínio decida adotar o aplicativo.

A categorização das médias das respostas por média dos blocos e por média dos constructos é apresentada na Figura 4.



**Figura 4 – Valor médio das notas atribuídas a cada bloco de perguntas (gráfico à esquerda) e a cada constructo analisado (gráfico à direita)**



Observa-se que todos os blocos tiveram desempenhos semelhantes e iguais dentro de um desvio-padrão, porém as respostas mais constantes foram relacionadas ao controle das reformas, o que significa um consenso maior entre os entrevistados com relação aos aspectos dessa atividade. As médias de todos os blocos ficaram oscilando entre 0,2 ponto, mostrando a constância em cada uma das partes analisadas. Mesmo assim, não é possível afirmar que há um bloco com maior avaliação geral devido à proximidade entre as médias e o erro associado à pesquisa.

Já os constructos tiveram desempenho igual e semelhante dentro de um desvio padrão. O constructo melhor destacado pelos entrevistados, assim como o resultado mais constante, foi o de relevância. A alta importância e utilidade das atividades abordadas pela plataforma foi um consenso entre eles. Assim como nos blocos, as médias de todos os constructos oscilaram entre 0,2 ponto, mostrando a constância em cada uma das partes analisadas. Dessa forma, não é possível afirmar com certeza se existe um constructo com melhor avaliação geral na população devido à proximidade entre as médias e o erro associado à pesquisa.

## 6. CONCLUSÕES

A ferramenta desenvolvida pretende atualizar a forma de distribuição do manual de uso, operação e manutenção do usuário de edificações, além de melhorar a comunicação entre as partes existentes e eficiência do processo de acompanhamento da edificação pós-construção.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi possível elaborar 2 versões da ferramenta. A operacionalidade do produto foi comprovada a partir da percepção de potenciais usuários, que destacaram sua relevância e indicaram ótimo desempenho e facilidade de uso, mesmo tratando-se de um protótipo.

A aplicabilidade do produto também é evidenciada tendo em vista que as tecnologias identificadas como necessárias para o desenvolvimento da solução são de fácil acesso, têm interface amigável ao usuário comum e já possuem histórico de uso em produtos desenvolvidos para outros contextos. O produto possui como público-alvo construtoras de pequeno a grande porte que buscam melhor estrutura e interação no acompanhamento de seus clientes pós-entrega do imóvel, com foco na qualidade, eficiência e responsabilidade social das suas atividades. Busca-se aqui um diferencial no mercado por maior atenção com o usuário, mesmo após término das obrigações do construtor/incorporador. Assim, o mercado do produto tem ampla abrangência ao ser composto por empresas de construção e incorporação imobiliária da região, tendo ainda a possibilidade de ampliação ao mercado existente para condomínios já construídos.

Por outra parte, a plataforma tem forte potencial para uso como sistema de coleta e tratamento de dados para retroalimentação do sistema de qualidade da construtora. A ferramenta permite a obtenção de vários indicadores relacionados à manutenção corretiva que podem ser utilizados pela construtora para melhoria de projetos futuros.

Observa-se que a ferramenta incentiva a participação ativa dos usuários no acompanhamento da edificação e depende dela para seu bom funcionamento. Contudo, nota-se uma excelente receptividade de potenciais usuários ao produto, fazendo com que o SMBuilding, uma vez disponível

no mercado, possa contribuir de forma relevante na formação de uma sociedade mais consciente de sua responsabilidade no acompanhamento e manutenção de suas edificações.

Como continuidade do projeto, é previsto o desenvolvimento/amadurecimento do protótipo para um MVP. Observa-se o potencial futuro para a criação de ferramenta madura com uso robusto de inteligência artificial para a gestão da informação de toda a etapa pós-entrega da obra, incluindo, em especial, as ações de assistência técnica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 14.037**. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. ABNT: Rio de Janeiro, 2014. 16 p.

ABNT. **NBR 15.575-1**. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. ABNT: Rio de Janeiro, 2013. 60 p.

ABNT. **NBR 16.280**. Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas – Requisitos. ABNT: Rio de Janeiro, 2015. 11 p.

ABNT. **NBR 5.674**. Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão da manutenção. ABNT: Rio de Janeiro, 2012. 25 p.

BAHRIN, M.A.K.; OTHMAN, F.; AZIL, N.H.N.; TALIB, M.F.T. Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 78, n. 6-13, p. 137-143, 2016.

BRASIL. **Lei nº. 8.078**, de 11 de setembro de 1990. Código de Defesa do Consumidor. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. 1990. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L8078.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8078.htm). Acesso em 25 mar 2020. DENSO WAVE. **History of QR Code, 2020**. Disponível em: <https://www.qrcode.com/en/history/>. Acesso em 25 mar 2020.

LIUY.; XU, X. Industry 4.0 and cloud manufacturing: a comparative analysis. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v.139, n.3, 2017.

LIU, H. Big data drives cloud adoption in enterprise. **IEEE Internet Comput**, v. 17, n. 4, p. 68-71, 2013.

LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration.**, v. 6, p. 1-10, 2017.

LU, Y. CECIL; J. An Internet of Things (IoT)-based collaborative framework for advanced manufacturing. **The International Journal of Advance Manufacturing Technology**, v. 84, n. 5, p. 1141-1152, 2016.

MOREIRA, L.C.S., 2018. **O Manual do Proprietário da Edificação Assistido pela Realidade Aumentada**. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

PEFOCE. Três pessoas são indiciadas pelo desabamento do edifício Andrea em Fortaleza. **Perícia Forense do Estado do Ceará**, 2020. Disponível em: <https://www.pefoce.ce.gov.br/2020/01/30/tres-pessoas-sao-indiciadas-pelo-desabamento-do-edificio-andrea-em-fortaleza/>. Acesso em 25 mar 2020.

PREUVENEERS, D.; ILIE-ZUDOR, E. The intelligent industry of the future: A survey on emerging trends, research challenges and opportunities in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 9, n. 3, p. 287-298, 2017.

REICHHELD, F.F. The One Number You Need to Grow. **Harvard Business Review**, 2003. Disponível em: <https://hbr.org/2003/12/the-one-number-you-need-to-grow>. Acesso em 25 mar 2020.

SENGE-CE. Laudo do Crea-CE aponta colapso estrutural no edifício Versailles. **Sindicato dos Engenheiros do Estado do Ceará**, 2015. Disponível em: <https://sengece.org.br/laudo-crea-ce-aponta-colapso-estrutural-edificio-versailles/>. Acesso em 25 mar 2020.

STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business. **Multinational Business Review**, v. 25 n. 3, p. 174-184, 2017.

TAO, F.; CHENG, Y.; XU, L.D.; ZHANG L.; LI, B.H. CCloudT-CMfg: Cloud Computing and Internet of Things-Based Cloud Manufacturing Service System. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 2, p. 1435-1442, 2014.

TAO, F., QI, Q.; LIU, A.; KUSIAK, A. Data-driven smart manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 48, p. 157-169, 2018.

TERRACOTA VENTURES. Mapa das Contrutechs e Proptechs Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.terracotta.ventures/insights>. Acesso em 25 mar 2020.



# VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE REQUISITOS DE PROJETOS DE SAÍDAS DE EMERGÊNCIA COM USO DE BIM E PROGRAMAÇÃO VISUAL

*Aluna:* Amanda da Silva Barbosa  
*Orientadora:* Dayana Bastos Costa

## RESUMO

Apesar de termos no Brasil uma quantidade cada vez maior de normas da ABNT elaboradas pelo Comitê Brasileiro de Segurança Contra Incêndio e diversas Instruções Técnicas dos corpos de bombeiros de cada estado, as recentes tragédias causadas por grandes incêndios mostram que ainda pode haver uma dificuldade na implementação dos requisitos dessas normas em projetos. O processo tradicional de conferência do projeto frente às regulamentações, por ser manual e depender unicamente dos conhecimentos dos profissionais que a realizam, demanda muito tempo e é bastante suscetível a erros, trazendo impactos à segurança do usuário final. Nesse sentido, a utilização de plataformas para verificação automática de requisitos em projetos pode trazer melhorias a esse processo, tornando-o menos manual e subjetivo, facilitando a identificação e documentação das não conformidades e aumentando a produtividade do processo. Com base nisso, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o uso de BIM e programação visual aplicados à verificação automática de requisitos de segurança contra incêndio em projetos de saídas de emergência, de acordo com a Instrução Técnica Nº 11 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado da Bahia. Para tal, foi desenvolvido um estudo de caso no qual foram selecionados sete requisitos da Instrução Técnica Nº 11 para serem convertidos em linguagem de programação visual. Por meio das rotinas criadas, realizou-se a verificação automática das regras em dois modelos BIM, visando garantir a funcionalidade da ferramenta em diferentes projetos. Os resultados das verificações foram gerados em Excel de modo automático e, por fim, as rotinas desenvolvidas foram avaliadas quanto à sua utilidade e aplicabilidade. Como resultado, o estudo mostrou que as ferramentas utilizadas têm potencial para tornar o processo de verificação de requisitos normativos em projetos mais rápido e confiável, diminuindo o esforço manual para verificação do projeto e podendo ser uma aplicação promissora a ser expandida para a verificação de outras normas e Instruções Técnicas.

**Palavras-chave:** Segurança Contra Incêndio. BIM. Verificação Automática de Regras. Programação Visual.

## 1. INTRODUÇÃO

As normas que regulamentam a segurança contra incêndio no setor da construção habitacional no Brasil estão em constante evolução, tornando-se cada vez mais complexas e em maior quantidade. Atualmente, além das pessoas preocupadas com a segurança nas edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), governos federal, estaduais e municipais, empresários, corpo de bombeiros e outras entidades têm empreendido esforços para implementar novas normas e leis,

para que as edificações tenham realmente mais segurança para as vidas humanas e o patrimônio (BRENTANO, 2007).

Esse crescente aumento em quantidade e complexidade de leis e normas tem tornado a etapa de conferência do projeto um processo demorado e propenso a erros. Somando-se a isso o fato de que muitas vezes há o problema de falta de consistência na interpretação das disposições regulamentares, licenças de construção têm demorado mais tempo para serem aprovadas, levando a impactos financeiros adversos nos projetos (NAWARI, 2019).

Dessa forma, o problema desta pesquisa reside no processo tradicional de análise de projetos, que, por ser realizado de forma manual, dependendo unicamente do conhecimento prévio dos analistas, tem resultado em lentidão e falta de padronização para aprovação. As normas de segurança contra incêndio, mais especificamente por serem extensas e estarem divididas em vários documentos que variam de acordo com o estado, são uma das que mais carecem de automatização para a verificação em projetos.

Portanto, visando contribuir para a melhoria da produtividade do processo de projetos, este estudo tem como objetivo avaliar o uso de Building Information Modeling (BIM) e programação visual computacional aplicados à verificação automática de requisitos de segurança contra incêndio em projetos, especificamente para saídas de emergência, de acordo com a Instrução Técnica Nº 11/2016 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado da Bahia.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diversos estudos em todo o mundo visam desenvolver métodos e tecnologias auxiliados por computador para automatizar aspectos do processo de verificação de projetos (BEACH; REZGUI; KASIM, 2015; LI, 2015; PAUWELS; ZHANG, 2015). De acordo com Eastman et al. (2008), a verificação automática de conformidades normativas utilizando BIM é uma tendência tecnológica na indústria da construção com grande potencial de desenvolvimento. Com auxílio de tais ferramentas, o esforço manual necessário para a verificação da conformidade do projeto com as normas pode ser drasticamente reduzido, fornecendo assim uma contribuição para o aumento da eficiência dos processos de projeto, automatizando-se etapas de verificação e de documentação das tomadas de decisão (PREIDEL; BORRMANN, 2016).

Atualmente a maioria dos softwares desenvolvidos para a verificação automática de regras possui uma série de templates de regras prontos que podem ser utilizados pelo usuário. Porém, a construção de novos templates ou as modificações dos existentes só podem ser realizadas pelos desenvolvedores (SILVA; ARANTES, 2017). Um problema comum com tais sistemas é a sua falta de flexibilidade por serem dependentes das regras que são fornecidas, desconsiderando que os regulamentos estão sujeitos a alterações frequentes, uma vez que evoluem com novos materiais, requisitos de desempenho e contextos (DIMYADI et al., 2016). Dessa forma, visando criar sistemas

flexíveis que permitam que o usuário defina regras, pesquisadores têm se concentrado no estudo de abordagens baseadas em linguagens de programação (SOLIHIN; DIMYADI; LEE, 2018).

Nos últimos anos, as Linguagens de Programação Visual, ou Visual Programming Languages (VPL), foram bem estabelecidas no campo da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Dentre os softwares mais conhecidos que utilizam essa linguagem estão o plug-in Grasshopper da Rhinoceros3D, Dynamo, da Autodesk Revit, e Marionette, da Vectorworks. Kim et al. (2017) afirmam que, por ser intuitiva e possibilitar modificações do projeto em tempo real, a linguagem visual tem sido bastante utilizada para dar suporte às verificações de regras. Segundo Preidel e Borrmann (2016), a razão para a maior capacidade de interpretação das linguagens visuais pode ser explicada pela psicologia cognitiva, que afirma que a informação visual pode ser processada pelos dois hemisférios do cérebro humano, ao invés de apenas um.

Em linguagens de programação textuais, os usuários têm que primeiramente aprender a sintaxe da linguagem para serem capazes de codificar programas. Já em ferramentas VPL, os programas são construídos usando diagramas chamados gráficos, que são compostos por elementos chamados nós (MONTEIRO, 2016). Dessa forma, as ferramentas VPL oferecem uma interface humano-computador mais amigável para facilitar o aprendizado e uso da linguagem de programação, fazendo com que profissionais de AEC com pouca ou nenhuma habilidade de programação possam desenvolver rotinas de verificação de regras de acordo com suas necessidades (MARTINS; RANGEL; ABRANTES, 2016).

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa escolhida para este trabalho foi o estudo de caso, conduzido por meio das seguintes etapas: (1) seleção e classificação das regras, (2) verificação automática das regras nos modelos BIM e (3) análise de resultados, como mostra a Figura 1.

O estudo foi realizado utilizando os modelos BIM de dois edifícios residenciais localizados em Salvador – BA, sendo que ambos foram desenvolvidos utilizando o software Revit, da Autodesk. O primeiro empreendimento, aqui denominado Projeto A, é constituído por três pavimentos de garagem, um pavimento térreo com áreas de uso comum e 16 pavimentos tipo, cada um deles contendo 4 apartamentos. O modelo contendo estrutura e arquitetura foi desenvolvido pela autora e, no período de realização do estudo, a obra do empreendimento se encontrava em fase avançada.

O segundo empreendimento, o qual será chamado de Projeto B, é constituído por dois pavimentos de garagem, um pavimento térreo contendo vagas de garagem e áreas de uso comum e 24 pavimentos tipo, cada um deles contendo 2 apartamentos. O modelo conta apenas com a disciplina de arquitetura e foi desenvolvido pelos arquitetos responsáveis pelo projeto. No período de realização do estudo, o Projeto B ainda estava em fase de anteprojeto.



Figura 1 – Delineamento do estudo



Fonte: a autora (2020).

### 3.1 Seleção e Classificação das regras

A distribuição das regras em classes é importante, pois facilita o entendimento e aproveitamento de aplicações já realizadas, além de apontar aos desenvolvedores de plataformas quais são as necessidades para um uso pleno (MAINARDI NETO, 2015). Neste estudo, foi utilizada a classificação proposta por Solihin e Eastman (2015), que leva em consideração o grau de complexidade das regras. Utilizando essa metodologia, tem-se no total quatro classes de regras:

- Classe 1 - Regras que necessitam de apenas um ou poucos dados. Essa classe verifica parâmetros que estão explicitamente disponíveis no modelo ou em seus elementos;
- Classe 2 - Regras que necessitam de valores derivados simples. A checagem se baseia em um único valor ou em uma pequena quantidade de valores. Nessa categoria, os valores são apenas derivados, sem a geração de uma nova estrutura de dados;
- Classe 3 - Regras que necessitam de uma estrutura de dados extensa. Geralmente estão ligadas a operações com geometrias, sendo necessário o uso de algoritmos;
- Classe 4 - Regras que necessitam de uma "prova de solução". A verificação tem como objetivo provar que o modelo está conforme, ao invés de simplesmente atender a critérios prescritivos. Geralmente são regras de normas que se baseiam em desempenho.

Devido à grande quantidade de regras presentes na Instrução Técnica N° 11 do CBMBA, para este estudo foram priorizadas aquelas regras que geralmente precisam ser consideradas em uma quantidade maior de projetos, em detrimento de regras muito restritas para uma determinada condição específica.

No total, foram identificados na Instrução Técnica analisada (CBMB, 2016) 88 procedimentos pertinentes para ocupações do grupo A-2 (edifícios de apartamento em geral). Dentre estes, 7 procedimentos foram selecionados para serem codificados.

O Quadro 1 apresenta as regras escolhidas e suas respectivas classes, seguindo a classificação de Solihin e Eastman (2015).

**Quadro 1 - Procedimentos da Instrução Técnica Nº 11 selecionados e suas classes**

Nº	Item da IT Nº 11	Procedimentos	Classe da regra
1	5.4.1.2	A largura das saídas, isto é, dos acessos, escadas, descargas e portas é dada pela seguinte fórmula: $N = \frac{P}{C}$	2
2	5.4.2	As larguras mínimas das saídas de emergência para acessos, escadas, rampas ou descargas devem ser de 1,10 m, para as ocupações em geral.	2
3	5.5.1.1 d.	Os acessos devem ter pé-direito mínimo de 2,5 m*	1
4	5.5.2.2	As distâncias máximas a serem percorridas para atingir as portas de acesso às saídas das edificações e o acesso às escadas ou às portas das escadas nos pavimentos constam da Tabela 2 (Anexo “B” da IT) e devem ser consideradas a partir da porta de acesso da unidade autônoma mais distante, desde que o seu caminhamento interno não ultrapasse 10 m.	3
5	5.5.4.3	A largura do vão livre ou “luz” das portas, comuns ou corta-fogo, utilizadas nas rotas de saída de emergências, deve ter as seguintes dimensões mínimas de luz: (a) 80 cm, valendo por 1 unidade de passagem; (b) 1 m, valendo por 2 unidades de passagem; (c) 1,5 m, em duas folhas, valendo por 3 unidades de passagem; (d) 2 m, em duas folhas, valendo por 4 unidades de passagem.	2
6	5.7.3.1	Os degraus devem ter: (a) altura h compreendida entre 16 cm e 18 cm, com tolerância de 0,5 cm; (b) largura b dimensionada pela fórmula de Blondel: $63 \text{ cm} \leq (2h + b) \leq 64 \text{ cm}$	2
7	5.8.2.7	Nas rampas e, opcionalmente nas escadas, os corrimãos devem ser instalados em duas alturas: 0,92 m e 0,70 m do piso acabado.	1

\*Com exceção de obstáculos representados por vigas, vergas de portas e outros, cuja altura mínima livre deve ser de 2,10 m.

Fonte: a autora (2020).

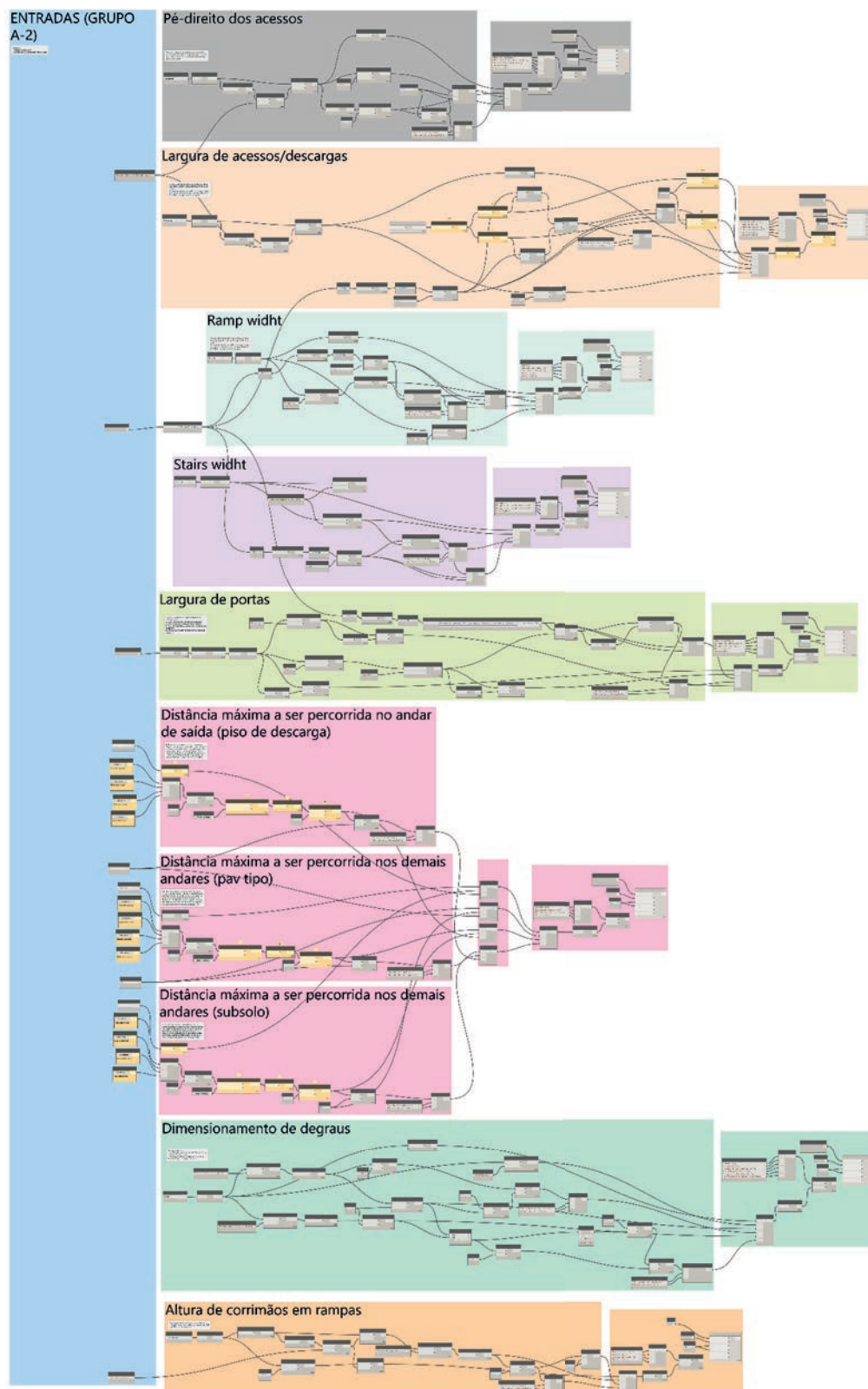
### 3.2 Verificação automática das regras nos modelos

O Dynamo é uma ferramenta de programação que usa uma estrutura chamada de programação visual. Com a programação visual, o usuário pode montar suas próprias aplicações, mesmo sem possuir conhecimento em linguagens de programação. A criação de uma aplicação em Dynamo, também chamada de rotina, é basicamente a montagem de uma sequência de tarefas a serem executadas (AUTODESK, 2018).

Para cada regra de verificação selecionada, foi desenvolvida uma rotina no Dynamo, e esta foi estruturada em três partes: (a) uma para o usuário informar os dados de entrada, (b) uma para a verificação da regra e (c) uma parte da rotina para organizar os dados e exportá-los para uma

planilha em Excel, elaborando assim o relatório de verificação. Ao longo da criação das rotinas, elas foram sendo testadas e aperfeiçoadas no modelo do Projeto A. Por fim, para validar o seu funcionamento, utilizou-se o modelo do Projeto B para executar o teste final da ferramenta. A Figura 2 apresenta uma visão geral de todas as rotinas desenvolvidas no Dynamo para a verificação das regras selecionadas.

**Figura 2 – Rotinas de programação visual desenvolvidas no Dynamo**



Fonte: a autora (2020).



### 3.3 Definição de critérios para uso das rotinas

No presente estudo, os modelos 3D BIM não foram inicialmente desenvolvidos com o propósito de fornecer informações para a execução de rotinas de verificação de regras. Dessa forma, durante a criação das rotinas, verificava-se a necessidade de realizar alterações no modelo para que ocorresse a verificação. O desenvolvimento da rotina era interrompido até que o modelo estivesse pronto para ser utilizado novamente. Com esse procedimento, foi possível identificar as principais informações e critérios de modelagem necessários para que se consiga realizar a verificação automática das regras.

### 3.4 Avaliação de resultados

A avaliação do uso da programação visual aplicada à verificação de regras de segurança contra incêndio foi realizada com base em dois constructos: utilidade e aplicabilidade. O constructo utilidade diz respeito ao quanto a solução proposta de fato funcionou e conseguiu ser eficaz na verificação das regras propostas. O constructo aplicabilidade foi avaliado sob a perspectiva da facilidade de criação e edição das rotinas e utilização das ferramentas. O Quadro 1 a seguir relaciona os constructos com suas respectivas fontes de evidências.

**Quadro 2 - Constructos e fontes de evidência utilizados**

Constructo	Fontes de evidência
Utilidade	Entrevistas e observação participante.
Aplicabilidade	Entrevistas, observação participante e análise das regras presentes na norma.

Fonte: a autora (2020).

Para a avaliação dos constructos, foram realizadas no total três entrevistas, sendo uma com a coordenadora de projetos da construtora dos empreendimentos, uma com o engenheiro de segurança também da mesma empresa e uma com o coordenador de vistorias do CBMBA. Nas entrevistas, a autora deu uma breve explicação sobre os fundamentos da utilização de BIM para verificação de regras por meio da programação visual e foi demonstrado na prática como ocorre a verificação dos requisitos selecionados pelas rotinas elaboradas. Em seguida, os entrevistados preencheram um questionário e fizeram comentários sobre o estudo desenvolvido.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Verificação das regras de saída de emergência

Inicialmente os códigos de programação visual foram desenvolvidos por meio de testes utilizando o modelo do Projeto A, cujo grau de detalhamento era alto por estar em fase executiva. Após o desenvolvimento das rotinas, para assegurar o seu funcionamento em diferentes tipologias de projeto, procedeu-se a verificação das regras no Projeto B. Para isso foi necessário primeiramente fazer pequenos ajustes em famílias e ambientes no modelo, tanto pelo fato de seus elementos

estarem representados de forma genérica por se tratar de um anteprojeto, mas principalmente pelo fato de o modelo ter sido elaborado pelos projetistas sem seguir as orientações de modelagem que serão apresentadas a seguir. Ainda assim, foi possível realizar as verificações automáticas nos dois modelos, comprovando que o uso das rotinas não é restrito para apenas um projeto específico, podendo ser aplicado para diferentes edifícios do grupo A-2 (edifícios de apartamentos em geral).

Todas as regras selecionadas no estudo foram atendidas no Projeto A como esperado, por se tratar de um projeto já compatibilizado. No Projeto B, foi encontrado problema com a largura das escadas e com relação às dimensões dos degraus de uma das escadas. Por essas razões, o projeto ainda não havia sido submetido para aprovação na prefeitura e corpo de bombeiros. As demais regras foram atendidas. Dessa forma, para a verificação da regra de largura de escadas, por exemplo, a rotina necessita como entrada para o cálculo da população o número de dormitórios no pavimento. A partir dessa informação e do valor da constante C dado pela norma, é calculado o valor de N para escadas, como especificado na Regra 1. Em seguida, realiza-se a comparação com o valor de 1,1 m estabelecido pela Regra 2 para a verificação de acessos, escadas, rampas ou descargas. Toda essa operação é realizada em segundos, e, ao final do processamento, o programa exibe uma janela em Excel com o resultado da verificação, como mostra os Quadros 3 e 4 a seguir.

**Quadro 3 – Dados do relatório da verificação da largura das escadas no Projeto A**

Escadas	Largura mínima do lance (m)	Largura mínima da norma (m)	Verificação
StairsType	1,1	1,1	Atende ao requisito
StairsType	1,1	1,1	Atende ao requisito
StairsType	1,1	1,1	Atende ao requisito

Fonte: a autora (2020).

**Quadro 4 – Dados do relatório da verificação da largura das escadas no Projeto B**

Escadas	Largura mínima do lance (m)	Largura mínima da norma (m)	Verificação
StairsType	1	1,1	Não atende ao requisito

Fonte: a autora (2020).

#### 4.2 Recomendação de critérios para uso das rotinas

Ao longo do estudo, foram identificadas as informações necessárias para executar a verificação das regras. Parte dessas informações são entradas manuais que devem ser inseridas pelo usuário para execução do programa. Outras são informações que serão identificadas automaticamente pelas

rotinas no modelo, sendo necessário para isso que o usuário atente para alguns critérios de modelagem. O Quadro 5 traz uma relação de todas as informações necessárias e recomendações de modelagem a serem seguidas para execução da verificação automática de regras por meio de rotinas de programação visual.

**Quadro 5 – Informações necessárias e recomendações de modelagem a serem seguidas para o funcionamento das rotinas**

ROTINA	INFORMAÇÕES DE ENTRADA	RECOMENDAÇÕES DE MODELAGEM
Pé-direito dos acessos	Nome do ambiente que dá acesso à saída de emergência;	Todos os ambientes de acesso devem possuir o mesmo nome; Ambientes devem ter o parâmetro "Altura não delimitada".
Largura de acessos/descargas	Nome do ambiente que dá acesso à saída de emergência; Número de dormitórios por pavimento;	Todos os ambientes de acesso devem possuir o mesmo nome.
Largura de rampas	Número de dormitórios por pavimento;	Todas as rampas precisam ser modeladas como rampas e não como piso. Famílias de rampa devem conter o parâmetro "Largura".
Largura de escadas	Número de dormitórios por pavimento;	Escadas devem conter o parâmetro "Largura mínima do lance".
Largura de portas	Número de dormitórios por pavimento; Nome da família de portas;	Todas as portas corta-fogo devem pertencer à mesma família e devem ter o parâmetro "Largura".
Distância máxima a ser percorrida	Nome do nível do pavimento que se deseja fazer a verificação; É necessário que o usuário marque os pontos da rota de fuga que uma pessoa iria percorrer no referido andar.	-
Dimensionamento de degraus	-	Escadas devem ter os parâmetros "Altura real do espelho" e "Profundidade real do piso".
Altura de corrimãos em rampas	Nome da família de corrimão.	É necessário haver uma família específica para corrimãos instalados em rampas, pois a regra de altura de corrimãos em escadas é diferente. Parâmetro "Altura do guarda corpo".

Fonte: a autora (2020).

### 4.3 Avaliação de resultados

A seguir será discutida a percepção dos entrevistados e da autora quanto à utilidade e aplicabilidade do uso de programação visual para verificação de regras. O Quadro 6 apresenta as respostas dos entrevistados ao questionário aplicado nas entrevistas.

**Quadro 6 - Percepção dos entrevistados sobre a utilidade e aplicabilidade das ferramentas**

Constructo	Questão	Nível de concordância dos entrevistados		
		CP	ES	CV
Utilidade	1- O uso da ferramenta pode tornar o processo de verificação de requisitos normativos em projetos mais rápido	5	5	5
Utilidade	2- O uso da ferramenta pode tornar a verificação de requisitos normativos em projetos mais confiável	5	4	4
Utilidade	3- Vejo potencial de uso da ferramenta para a verificação de outras normas técnicas em projetos	5	4	5
Aplicabilidade	4- Um usuário sem nenhum conhecimento de programação visual consegue realizar as verificações sem dificuldades	4	3	5
Aplicabilidade	5- O relatório das verificações gerado em Excel é claro e de fácil entendimento	5	4	5

Nota 1: Legenda para os códigos dos entrevistados: CP – Coordenadora de Projetos; ES – Engenheiro de Segurança; CV – Coordenador de Vistorias do CBMBA.

Nota 2: Escala Likert para o nível de concordância dos entrevistados com as afirmações: 1 – muito baixo; 2 – baixo; 3 – médio; 4- alto; 5 – muito alto.

Fonte: a autora (2020).

Na avaliação dos resultados com base na utilidade, os entrevistados concordaram que a solução proposta pode tornar o processo de verificação de conformidade do projeto mais rápido e confiável, sendo uma avaliação muito positiva e relevante para o estudo, pois se relaciona diretamente com o problema da pesquisa. Eles também acreditam no potencial da ferramenta para verificar outros tipos de normas técnicas. Ao longo do estudo, percebeu-se a importância de os regulamentos serem escritos da maneira mais clara e simples possível, evitando que a rotina seja programada por meio de uma interpretação equivocada da regra e traga prejuízos ao processo de verificação.

Quanto à aplicabilidade, de modo geral, os entrevistados acreditam que usuários sem conhecimento de programação visual conseguem realizar as verificações, mas ainda assim devem ser treinados para a utilização do programa. Os entrevistados também avaliaram o relatório das verificações gerado em Excel como sendo claro e de fácil entendimento. Na percepção da autora, as regras de classe 1 e 2 são as mais indicadas para serem verificadas por meio de programação visual, tanto pelo seu caráter prescritivo, que faz com que a criação de rotinas seja mais fácil, como também pelo fato de estarem presentes em maior quantidade na Instrução Técnica. Apesar de se ter conseguido realizar a verificação da regra de classe 3, percebeu-se que a estrutura da linguagem de programação visual não favorece a verificação desse tipo de regra, que lida com a geometria espacial do modelo. Regras de classe 4, que são baseadas em desempenho, não são comuns na Instrução Técnica utilizada e não foram testadas.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar o uso de BIM e programação visual computacional aplicados à verificação automática de requisitos de segurança contra incêndio em projetos, especificamente



para saídas de emergência, de acordo com Instrução Técnica Nº 11 do Corpo de Bombeiros Militar do Estado da Bahia. Foi desenvolvido um estudo de caso no qual sete requisitos da Instrução Técnica foram convertidos em linguagem de programação visual para a verificação automática das regras em dois projetos BIM. Assim, conseguiu-se gerar, de forma automática, os resultados das verificações em Excel e, por fim, as rotinas desenvolvidas foram avaliadas com base nos constructos utilidade e aplicabilidade.

A avaliação do uso de programação visual mostrou o potencial da ferramenta para tornar o processo de verificação de requisitos de projetos mais rápido e confiável, diminuindo o esforço manual empregado e mostrando ser uma aplicação promissora a ser expandida para a verificação de outras normas técnicas. O desenvolvimento das rotinas mostrou ser uma atividade intuitiva e de rápida aprendizagem, não necessitando de conhecimentos avançados de programação e com o benefício de poder reutilizar as rotinas posteriormente em outros projetos. Além disso, o Dynamo é uma plataforma de código aberto que funciona como um plug-in do Revit. Ao utilizá-lo para verificação automática de regras, elimina-se o custo de compra de softwares dedicados a essa funcionalidade, que muitas vezes têm a limitação de só permitir que o usuário verifique as regras que os desenvolvedores dos softwares programaram.

Mais estudos ainda serão necessários para viabilizar a utilização da linguagem de programação visual para verificação de regras que necessitam de uma análise espacial do projeto ou mesmo aquelas baseadas em desempenho. No entanto, a solução proposta tem grande potencial para automatizar a verificação de requisitos prescritivos de normas, proporcionando que o profissional que irá realizar a análise do projeto tenha mais tempo para fazer análises mais profundas do projeto, como quanto a sua utilização, ou impacto ambiental, por exemplo. Dessa forma, conclui-se que a ferramenta utilizada tem condições de apoiar e complementar o processo de verificação de projetos, diminuindo o tempo empregado e tornando-os menos manuais e propícios a erros, mas sem dispensar a aprovação final por um analista.

**Preposição de pesquisa de mestrado:** o presente trabalho faz parte de um estudo iniciado pela autora na graduação e continuado no seu mestrado.

## 6. REFERÊNCIAS

AUTODESK. **Conheça a ferramenta Dynamo da Autodesk e saiba como funciona.** <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/getting-started/caas/simplecontent/content/conhe-C3-A7a-ferramenta-dynamo-da-autodesk-e-saiba-como-funciona.html>, 2018. Acesso em: 04/07/2019.

BEACH, T. H.; REZGUI, Y.; LI, H.; KASIM, T. A rule-based semantic approach for automated regulatory compliance in the construction sector. **Expert Systems with Applications**, 42, n. 12, p. 5219-5231, 2015/07/15/ 2015.

BRENTANO, T. **Instalações hidráulicas de combate a incêndio nas edificações**, 3ª. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA BAHIA. **Instrução Técnica Nº 11.** Saídas de Emergência. CBMBA: Salvador, 2016.

DIMYADI, J.; SOLIHIN, W.; EASTMAN, C.; AMOR, R., 2016, Brisbane, Australia. **Integrating the BIM Rule Language into Compliance Design Audit Processes**

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook:** A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

KIM, H. et al. **Visual Language-based approach for the Definition of Building Permit related rules.** 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017). Taipei, Taiwan: 423-429 p. 2017.

LI, Y. **Automated Code-checking of BIM models.** 2015. (Mestrado) - Universidade do Porto, Porto.

MAINARDI NETO, A. I. B.; SANTOS, E. T. Verificação de Regras em Modelos BIM: Um estudo de caso sobre projeto de arquitetura de estações metroviárias. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.

MARTINS, J. P.; RANGEL, B.; ABRANTES, V. **Automated rule-checking - a tool for design development.** 41st IAHS World Congress. Albufeira 2016.

MONTEIRO, A. Visual Programming Language for Creating BIM Models with Level of Development 400. In: 4th BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, 2016, São Paulo & Lisboa. **Proceedings...** São Paulo: BIMMI, 2016.

NAWARI, N. O. A Generalized Adaptive Framework (GAF) for Automating Code Compliance Checking. **Buildings**, v. 9, n. 4, p. 86, 2019. ISSN 2075-5309. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/4/86> >.

PAUWELS, P.; ZHANG, S. Semantic Rule-checking for Regulation Compliance Checking: An Overview of Strategies and Approaches In: **CIB W78 Conference**, 2015, Eindhoven. p. 619-627.

PEREIRA, S. M. S. D. A.; AMORIM, S. R. L. O desenvolvimento de ferramenta de verificação de requisitos de projeto para o Revit através de API. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2014.

PREIDEL, C.; BORRMANN, A. Towards code compliance checking on the basis of a visual programming language **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 21, p. 402-421, 2016.

SILVA, F. **Verificação automática dos requisitos de projetos da Norma de desempenho pela plataforma BIM Solibri Model Checker.** 2017 (Mestrado). Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SILVA, F.; ARANTES, E. Verificação automática de requisitos de projetos da norma de desempenho NBR15.575 a partir da adequação de regras da plataforma BIM Solibri Model Checker. 1º SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO E 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO FORTALEZA, 2017.

SOLIHIN, W.; DIMYADI, J.; LEE, Y.-C., 2018, **In Search of Open and Practical Language-Driven BIM-based Automated Rule Checking Systems.**

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, 2015.

SOUZA, L. C. L. V. D. **Parâmetros para dimensionamento do projeto de segurança contra incêndio e pânico de edificações: orientações e lista de verificação.** 2018. Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador.

# PLATAFORMA WEB PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS PARA FINS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA COM USO DE DRONE E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

*Alunos:* João Lucas Torres Nogueira e Luciano de Brito Staffa Júnior  
*Orientadora:* Dayana Bastos Costa

## RESUMO

O telhado é um sistema complexo e importante, pois protege os demais elementos internos da edificação contra intempéries, entretanto há dificuldades de inspeção devido a difíceis acessos. O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e as técnicas de visão computacional são tecnologias que podem contribuir para inspeções de telhado, fornecendo uma grande quantidade de dados em pouco tempo e permitindo a identificação automática de patologias. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma plataforma web para inspeção de estruturas de telhado para fins de assistência técnica apoiado por drones e inteligência artificial. As ferramentas utilizadas foram as linguagens HTML, CSS e JavaScript e os softwares, Firebase para infraestrutura e Custom Vision para processamento de imagem. O desenvolvimento da plataforma web foi realizado a partir das seguintes etapas: (a) criação e validação do checklist de inspeção de telhados, (b) validação do uso do Custom Vision como ferramenta de reconhecimento de imagem e (c) desenvolvimento da plataforma web. Os resultados do reconhecimento automático apontaram um percentual de 77,08% de precisão na identificação de não conformidades em imagens de telhados obtidas por drones para fins de assistência técnica. Este estudo contribuiu para o desenvolvimento de uma plataforma de inspeção para telhados integrada a drone para coleta de dados visuais e inteligência artificial para reconhecimento automático de patologias, possibilitando maior eficiência e agilidade na coleta, processamento e análise de resultados para garantia da durabilidade da edificação.

**Palavras-chaves:** Inspeção de telhados, Veículo Aéreo Não Tripulado, processamento de imagem, visão computacional, sistema web.

## 1. INTRODUÇÃO

O telhado é um componente muito importante de uma edificação, tendo a função de protegê-la contra intempéries e agentes externos, tais como temperatura, umidade, chuva, vento e ruído (GARCEZ et al., 2012; CONCEIÇÃO et al., 2017). No entanto, o telhado é um local de difícil acesso e a não realização de inspeções periódicas aumenta as chances do aparecimento de patologias, podendo provocar problemas em diversas partes da edificação (GARCEZ, et al., 2012). Dentre as principais não conformidades em telhados pode-se citar: defeitos como corrosão, fissura, infiltração e presença de organismos vivos.

Na inspeção de uma edificação, é feita a investigação e avaliação do seu estado (RAZALI et al., 2019; KAAMIN et al., 2020). Tradicionalmente as inspeções de edificações são feitas visualmente (KAAMIN et al., 2020). Tratando-se de telhados, encontrar defeitos por meio dos métodos tradicionais de inspeção não é uma tarefa fácil, pois exige a presença do inspetor no local a ser inspecionado,



aumentando o seu custo e tempo de realização (KRAWCZYK et al., 2015).

Nesse sentido, o uso de drones pode ser visto como uma alternativa à inspeção visual (RAZALI et al., 2019; KAAMIN et al., 2020). O uso de drone apresenta vantagens relacionadas com o baixo custo, alta mobilidade, apoio seguro, alta qualidade visual e velocidade na aquisição de dados (IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015; SILVEIRA; MELO; COSTA, 2020). Staffa et al. (2020) identificaram em seu estudo problemas relacionados a limpeza das calhas, presença de resíduos no telhado e acúmulo de algas, líquens e musgos. Razali et al. (2019) e Kaamin et al. (2020) utilizaram o drone para identificar problemas como corrosão, crescimento de vegetação e telhas quebradas. De acordo com Silveira et al. (2020), utilizar o drone para realizar inspeções de telhados permite aumentar a transparência, simplificar etapas e diminuir o tempo de realização das inspeções de telhado, agilizando a preparação de relatórios e aplicação de ações corretivas.

Segundo Fang et al. (2018), a detecção de objetos tornou-se uma área fértil de pesquisa graças aos avanços de tecnologias como aprendizado de máquina, visão computacional e o aumento da acessibilidade e do poder de processamento de outras tecnologias. A utilização da visão computacional na detecção de materiais e equipamentos, plantas e presença de pessoas em locais de construção traz melhorias à segurança e produtividade. Dentre as diversas aplicações da visão computacional na construção civil destacam-se monitoramento de progresso, rastreamento de trabalhadores e o uso de equipamentos de proteção individual (EPI). Desse modo, existe grande potencial no uso da visão computacional para avaliar patologias de telhados, por meio de imagens coletadas por drone. As ferramentas de processamento de imagem podem ser utilizadas para melhorar as inspeções de telhados, pois permitem diminuir o tempo de análise dos dados, fornecendo informações em tempo hábil para realização de ações corretivas.

Este estudo propõe o desenvolvimento de uma plataforma web para inspeção de estruturas de telhado de edificações para fins de assistência técnica apoiada por drone e inteligência artificial. Essas tecnologias integradas permitem a padronização do processo de coleta de dados, reconhecimento automático de parte das patologias encontradas, compartilhamento de informações e confiabilidade de dados. Para o reconhecimento automático das patologias, foi utilizada uma base de imagens de 173 telhados de edifícios residenciais coletada por drone. Este estudo faz parte de uma plataforma mais ampla, chamada Smart Inspecc Obras, que utiliza tecnologias como drone, dispositivos móveis e inteligência artificial para apoiar nas inspeções de obra e no fornecimento de informações para gestão em tempo real.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Para as inspeções de telhados, os drones podem fornecer uma grande quantidade de dados visuais (imagens e vídeos) em um curto espaço de tempo, permitindo a visualização de patologias em áreas difíceis e com segurança (SILVEIRA; MELO; COSTA, 2020). Devido a essa grande quantidade de dados, o desenvolvimento de mecanismos para automatizar a análise desses ativos visuais pode agilizar a preparação de relatório e aplicação de ações corretivas (STAFFA; et al., 2020). Nesse contexto, o uso de visão computacional, como aprendizagem de máquina, para detecção de objetos em construções pode representar importante avanço.

De acordo com Nath et al. (2020), nos últimos anos, os métodos de aprendizado profundo (em inglês, deep learning) chamaram atenção na área de visão computacional devido à sua capacidade de

autoaprender as características úteis a partir de um grande conjunto de dados de treinamento. Para Fang et al. (2018), o uso de aprendizado profundo pode resultar em melhoria dos níveis de precisão, além de acomodar várias das limitações das abordagens convencionais baseadas em visão computacional. Particularmente, a Rede Neural Convolutiva (CNN) está sendo amplamente utilizada para classificação de imagens e detecção de objetos (NATH; et al., 2020). Fang et al. (2018) verificaram que as CNN são altamente eficazes na descoberta de estruturas complexas em conjuntos de dados de alta dimensão e, portanto, podem ser usadas para a detecção de objetos em vários domínios.

A literatura aponta estudos utilizando aprendizado de máquina para inspeção de estruturas ou segurança. Lin et al. (2021) utilizaram tal tecnologia para o desenvolvimento de um modelo para inspeção de pontes, treinando cinco classes de objetos, incluindo rachadura, fragmentação, eflorescência, manchas de corrosão e vergalhões de reforço expostos. No trabalho de Nath et al. (2020), as técnicas de aprendizado profundo foram utilizadas para verificar a utilização de EPI por parte dos trabalhadores na construção. Nos trabalhos de Lin et al. (2021) e Nath et al. (2020), a técnica de Data Augmentation também foram utilizadas para aumento e variação da base dados, fazendo alterações como inversão, rotação, alteração de contraste e brilho nas imagens originais.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa visou ao desenvolvimento do artefato Plataforma web para inspeção de estruturas de telhado de edificações para fins de assistência técnica apoiado por drone e inteligência artificial.

Para este estudo foi utilizado um drone do tipo quadricóptero, modelo DJI Phantom 4. Esse drone foi escolhido por ser uma tecnologia acessível e comercializada, com características que facilitam sua operação em canteiros de obras. Em termos de softwares e linguagem de programação, foram utilizados: (a) Visual Studio Code 2019 para edição de código-fonte utilizado no desenvolvimento dos códigos de programação; (b) JavaScript, HTML e CSS como as linguagens de programação; (c) Firebase, que é uma plataforma do Google para desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis e web; e (d) Custom Vision, da Microsoft, que é um serviço de inteligência artificial que permite a criação de classificador de imagens personalizado. Esse sistema usa redes pré-treinadas (ResNet, AlexNet).

Este estudo foi desenvolvido na empresa construtora, denominada de Empresa A, que é uma empresa de grande porte que atua desde 1979 no segmento de imóveis residenciais para a classe média e média baixa. A empresa realiza atividades nas áreas de concepção do projeto, incorporação e construção. Os empreendimentos analisados neste estudo estão localizados nos municípios de Salvador e Lauro de Freitas.

As principais etapas deste estudo foram: (a) criação e validação do checklist de inspeção de telhados, (b) validação do uso do Custom Vision como ferramenta de reconhecimento de imagem e data augmentation e (c) desenvolvimento da plataforma web, conforme detalhados a seguir.

#### 3.1 CRIAÇÃO E VALIDAÇÃO DO CHECKLIST DE INSPEÇÃO DE TELHADOS COM USO DO DRONE

Nesta etapa da pesquisa, em conjunto com a equipe de assistência técnica da Empresa A, foi realizada a adequação do checklist de inspeção de estruturas telhados, considerando os itens inspecionáveis

com drone e itens que somente poderiam ser inspecionados presencialmente. Os critérios adotados para os itens serem inspecionados presencialmente foram: locais cobertos ou de difícil visualização, elemento com tamanho muito pequeno, por exemplo, parafusos e furações para fixação das telhas; e itens de difícil identificação, como transpasse e largura dos rufos. A Tabela 1 apresenta 38 itens do checklist estabelecidos em conjunto com a equipe de assistência técnica da Empresa A.

### 3.2 TESTES COM O CUSTOM VISION E DATA AUGMENTATION

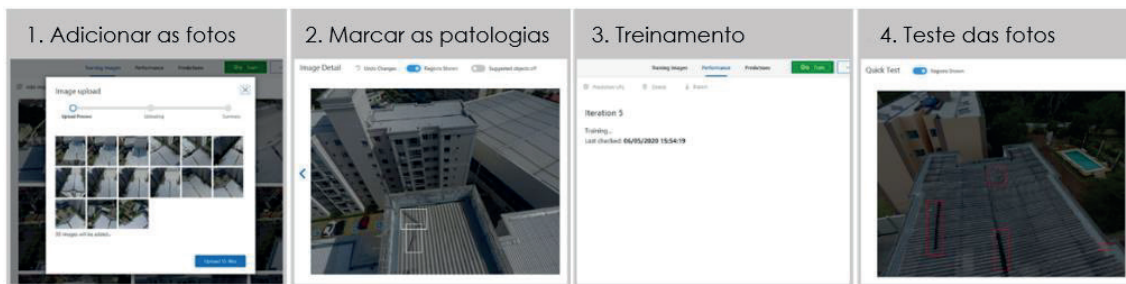
Para realização do treinamento e testes de reconhecimento automático das patologias de telhados, foram realizadas as seguintes atividades: (a) seleção de imagens coletadas por drone, a partir da base de dados de imagens do GETEC; (b) definição dos requisitos de inspeção de telhado, com base no checklist definido na etapa anterior; (c) análise manual das imagens e identificação das não conformidades; (d) carregamento das imagens no software de processamento de imagem Microsoft Custom Vision para a realização de treinamento e teste; e (e) análise dos dados (Figura 1).

**Tabela 1 – Checklist para inspeção de telhados**

ITENS PARA INSPEÇÃO COM DRONE	ITENS PARA INSPEÇÃO COMPLEMENTAR (SEM DRONE)
1. Disposição adequada de antenas e fios	17. Instalação e integridade da antena SPDA
2. Alçapões devem estar fechados	18. Calafetação do Alçapão
3. Instalação da lâmpada piloto (se aplicável)	19. Integridade / oxidação dos alçapões
4. Acúmulo de algas, líquens e musgos	20. Calafetação dos dutos de ventilação
5. Presença de resíduos no telhado	21. Funcionamento da lâmpada piloto
6. Integridade das telhas (quebradas)	22. Presença de escada de marinho entre hall e telhado
7. Presença de telha extra no telhado em sentido longitudinal à água	23. Integridade da escada de marinho
8. Pintura das telhas em cor branca (se aplicável)	24. Integridade das telhas (fissuradas)
9. Oxidação das telhas (se aplicável)	25. Fixação das telhas (parafusos e furações)
10. Limpeza das calhas	26. Integridade dos rufos (amassados)
11. Integridade das calhas (oxidação, amassamento)	27. Transpasse dos rufos
12. Integridade dos dutos de ventilação	28. Largura dos rufos
13. Limpeza das placas fotovoltaicas (se aplicável)	29. Impermeabilização da moldura e da platibanda
14. Integridade dos rufos (oxidação)	30. Calafetação das calhas (aplicação de PU)
15. Má fixação do rufo	31. Extravasador de calha desobstruído
16. Vedação do encontro entre rufos	32. Calafetação do extravasador de calha
	33. Integridade e fixação dos ralos tipo "abacaxi"
	34. Fixação dos ralos tipo "abacaxi"
	35. Integridade das estruturas metálicas
	36. Fixação das estruturas metálicas
	37. Presença de fissuras nas placas fotovoltaicas (se aplicável)
	38. Fixação das placas fotovoltaicas (se aplicável)

Fonte: Os autores.

**Figura 1 - Etapas de utilização do Custom Vision para reconhecimento de imagens**



Fonte: Os autores.

Neste estudo, foram analisadas um total de 3.404 imagens de telhados capturadas por drone, de 173 telhados inclinados com telhas de fibrocimento, de 11 condomínios residenciais em uso. As fotos foram coletadas de edificações, com idade entre um a cinco anos, executadas pela Empresa A. Esse banco de dados foi formado no estudo de Silveira, Melo e Costa (2021). Das 3.404 imagens de telhados analisadas, 913 apresentaram não conformidades, das quais 52 foram separadas para testes. Vale ressaltar que é possível encontrar mais de um tipo de não conformidade por imagem.

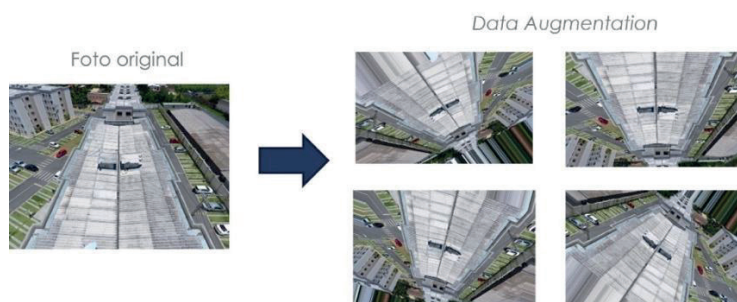
O treinamento do modelo para identificação das não conformidades em imagens de telhados obtidas por drone foi realizado no Custom Vision. Nesse software é possível utilizar o recurso detector de objetos, no qual são identificadas as classes rotuladas anteriormente pelo usuário. O Custom Vision disponibiliza os valores de precisão, que indicam qual a probabilidade do modelo prever corretamente uma nova imagem; Recall, indicando a capacidade de lembrança do modelo em classificar corretamente as imagens que foram utilizadas no treinamento do mesmo; e mAP (Precisão média), que indica o desempenho geral do detector de objetos em todas as classes.

Após o treinamento do modelo criado, o Custom Vision permite testar imagens programaticamente enviando-as ao ponto de extremidade da sua API de previsão. Após a publicação da iteração criada, por meio da chave e URL de previsão disponibilizadas pela plataforma, é possível escrever um código que permite enviar imagens ao Custom Vision e obter os seus indicadores.

Para aumentar a base de dados de imagens disponível para treinamento do Custom Vision, foi utilizado o método de Data Augmentation, que permite gerar novas imagens alterando algumas características da fotografia original (Figura 2). Nesse estudo, foram realizados dois treinamentos e os modelos gerados foram testados utilizando 104 imagens, das quais 52 não possuíam problemas (classes negativas) e as outras 52 possuíam não conformidade (classes positivas). Foi adotado o critério de aleatoriedade para a seleção das imagens. O Data Augmentation foi utilizado para as classes de não conformidades que possuíam menos de 120 imagens, sendo então utilizado em 6 das 11 classes, identificadas em negrito na Tabela 2. Dessa forma, foi possível gerar 733 imagens artificiais de telhados com não conformidades, que, somadas às imagens originais (861), totalizaram 1.594 imagens para o treinamento do Custom Vision.



Figura 2 – Exemplo da aplicação da técnica de Data Augmentation



Fonte: Os autores.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA PLATAFORMA WEB

Essa etapa envolveu o desenvolvimento da plataforma web, incluindo definição do fluxo de atividades para inspeção de telhados com uso do drone e inteligência artificial, desenvolvimento da plataforma web e integração com software de reconhecimento de imagens. A estrutura e conteúdo da página da plataforma foram desenvolvidos utilizando o HTML. Em seguida o CSS foi utilizado, estilizando o documento web criado na etapa anterior e, por fim, o JavaScript foi utilizado para adicionar funcionalidades à página web. A integração do Custom Vision à plataforma foi realizada por meio da criação de um algoritmo que permite acessar os resultados do Custom Vision quanto à identificação das patologias em imagens de telhados obtidas por drone, informando a precisão da identificação e as coordenadas de localização da classe na imagem testada, sendo assim possível realizar a marcação da patologia ou não conformidade.

## 4. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos com as etapas de reconhecimento automático das patologias de telhados e o desenvolvimento da plataforma web.

### 4.2 USO DO CUSTOM VISION E DATA AUGMENTATION PARA RECONHECIMENTO DAS PATOLOGIAS

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos treinamentos com o Custom Vision com base no checklist de inspeção de telhados definido, usando apenas imagens originais e usando imagens originais e artificiais geradas pelo Data Augmentation. Com uso apenas de imagens originais da base de dados, foi possível reconhecer 5 (cinco) classes de patologias, com precisão acima de 70%. Nota-se que, após o aumento da base de dados usando a técnica de Data Augmentation, houve um aumento na precisão de identificação em 5 das 11 classes de não conformidades. As classes "Disposição adequada de antenas e fios" e "Integridade das telhas (quebradas)" não apresentaram valores de precisão antes da utilização dessa técnica, pois não foram utilizadas no treinamento pelo fato de não possuírem o número mínimo de 16 fotos exigidas pela plataforma. Das 11 patologias propostas, apenas a "má fixação de rufo" não teve sucesso de reconhecimento automático, mesmo com aumento da base de dados.

*Tabela 2 – Classes de patologias de telhados, número de patologias e análise da precisão com imagens originais e imagens originais e artificiais (Data Augmentation)*

Classe de patologias de telhado	Nº de não conformidades		Precisão	
	Fotos Originais	Fotos Originais e Artificiais	Fotos Originais	Fotos Originais e Artificiais
Limpeza das calhas	182	<b>656</b>	62,10%	<b>80,50%</b>
Acúmulo de algas, líquens e musgos	157	<b>401</b>	73,50%	70,80%
Presença de resíduos	117	<b>423</b>	82,10%	<b>86,20%</b>
<b>Integridade dos rufos (oxidação)</b>	93	<b>233</b>	58,10%	<b>87,50%</b>
Integridade das calhas (oxidação, amassamento)	49	<b>90</b>	77,80%	0,00%
<b>Vedação do encontro entre rufos</b>	47	<b>228</b>	42,90%	<b>66,70%</b>
Presença de telha extra no telhado	45	<b>118</b>	75,00%	<b>90,00%</b>
<b>Tampa do alçapão aberta</b>	33	<b>141</b>	100,00%	91,30%
<b>Má fixação do rufo</b>	16	<b>136</b>	0,00%	0,00%
<b>Disposição adequada de antenas e fios</b>	13	<b>120</b>	-	100,00%
<b>Integridade das telhas (quebradas)</b>	5	<b>127</b>	-	87,50%
<b>TOTAL</b>	757	2673	-	-

Fonte: Os autores.

A Tabela 3 apresenta os resultados das seis métricas adotadas para avaliar a fase de teste (104 imagens por teste). O modelo treinado por imagens geradas por Data Augmentation apresentou resultados superiores de acurácia (75,00%), precisão (77,08%) e especificidade (78,85%) em relação ao modelo realizado inicialmente apenas com as imagens originais. Considerando a média dos indicadores, o treinamento após o Data Augmentation apresentou resultado médio de 74,88%, considerando todos os indicadores.

*Tabela 3 – Resultados dos indicadores após teste dos modelos do Custom Vision (antes e após o Data Augmentation)*

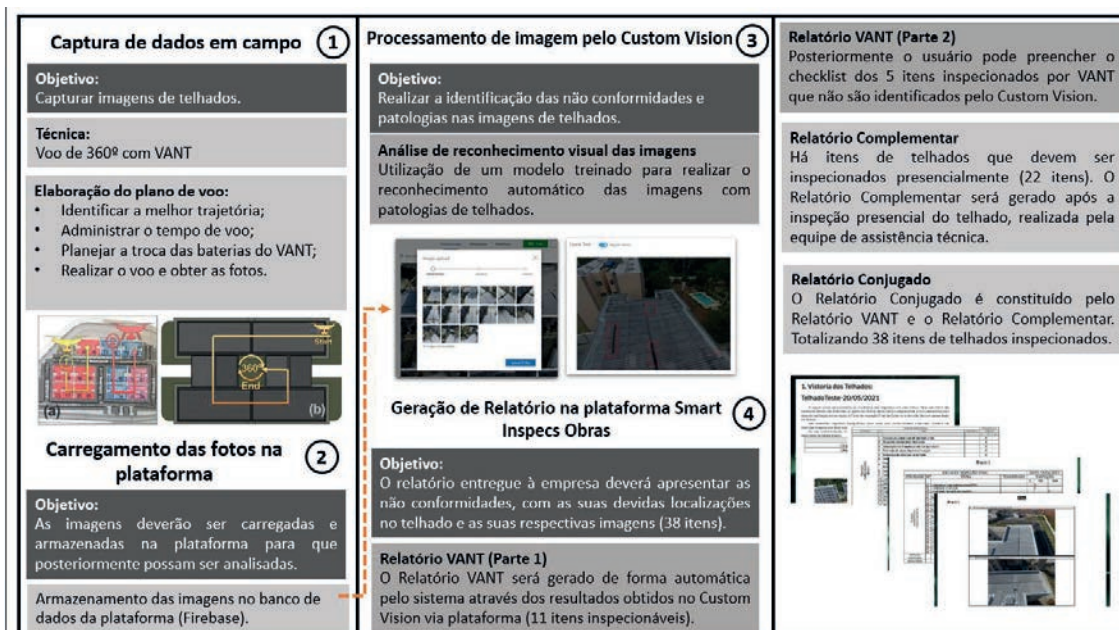
Métricas	Fotos Originais	Fotos Originais e Artificiais (Data Augmentation)
Acurácia	72.12%	<b>75.00%</b>
Precisão	69.49%	<b>77.08%</b>
Recall	78.85%	71.15%
F-score	73.87%	74.00%
Precisão Negativa	75.56%	73.21%
Especificidade	65.38%	<b>78.85%</b>
<b>Média</b>	72.54%	<b>74.88%</b>

Fonte: Os autores.

## 4.2 PLATAFORMA WEB PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADO PARA FINS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA APOIADO POR DRONE E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O fluxo de atividades da Plataforma web - Smart Inspects Obras - Inspeção de Telhados está dividido nas etapas conforme apresentadas na Figura 3 e detalhadas a seguir.

Figura 3 – Fluxo de atividades do Smart Inspects Obras – Inspeção de telhados



Fonte: Os autores.

### 1) Captura de dados em campo

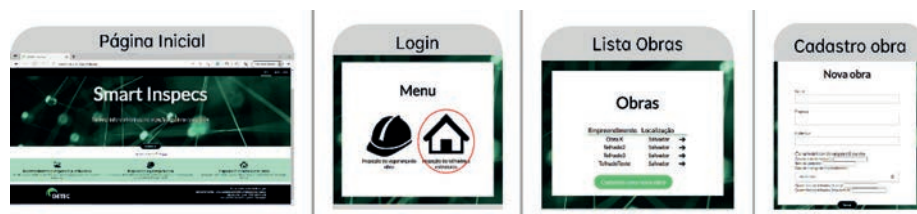
O fluxo de atividades inicia-se com a captura das imagens de telhados em campo. A obtenção das fotos é realizada com uso do método Voo de 360º com drone, desenvolvido por Silveira et al. (2020). Esse método consiste em sobrevoar e obter as fotos de toda a superfície do telhado, a uma altura de aproximadamente 6 metros, para garantir a qualidade da resolução das imagens. Além disso, o drone deve fazer um voo de 360º a partir do centro do telhado e continuar obtendo as fotos. Tal técnica permite obter uma grande quantidade de imagens em pouco tempo. Para a realização do voo com drone é necessário elaborar um plano de voo, no qual a equipe responsável deve identificar a melhor trajetória a ser percorrida pelo drone, administrar o tempo de voo, planejar a troca de baterias, se necessário, e, por fim, realizar o voo e obter as fotos de telhados.

### 2) Acesso ao sistema para carregamento das fotos na plataforma

Nessa etapa, o usuário acessa a plataforma Smart Inspects para carregar as imagens coletadas no voo. A plataforma Smart Inspects possui dois módulos, sendo o primeiro relativo à inspeção de segurança, que não faz parte do escopo deste trabalho, e o segundo, a inspeção de telhado, escopo deste trabalho. Para acesso independente dos módulos, foi desenvolvido um menu e que pode ser acessado logo após o login do usuário. Na seleção do módulo de telhado, o usuário tem acesso à sua lista de obras. Caso o usuário esteja cadastrado como moderador, a opção "Cadastre uma nova obra" é apresentada. Para cadastrar uma nova obra é necessário o preenchimento de um checklist com informações gerais da obra e do empreendimento (Figura 4).

Ao selecionar a obra, o usuário tem acesso à lista de inspeções daquela obra, podendo: (1) Acessar o menu daquela inspeção; (2) Acessar os relatórios daquela inspeção; (3) Cadastrar uma nova inspeção. Para cadastrar uma nova inspeção, será necessário o preenchimento de checklist com alguns dados da inspeção, como: data, condições climáticas, número de telhados inspecionados (Figura 5).

**Figura 4 - Página Inicial, login, lista de obras e cadastro para nova obra**



Fonte: Os autores.

**Figura 5 - Lista de Inspeções, Menu de inspeção e Cadastro de nova inspeção**



Fonte: Os autores.

### 3) Processamento de imagem

Acessando o menu da inspeção, são disponibilizadas três possíveis opções: (1) Inspeção VANT; (2) Inspeção Complementar; (3) Relatórios. Ao selecionar a Inspeção por VANT no menu da inspeção, será disponibilizado um local para upload de até 5 imagens por bloco. Após upload, ocorre a identificação automática e manual das não conformidades e patologias identificadas nos telhados a partir das imagens inseridas na plataforma web. Esse processo é realizado devido à integração entre a plataforma web e o Custom Vision (Figura 6).

Para o processamento automático, as imagens são enviadas ao Custom Vision e inspecionadas pelo sistema (11 itens), retornando as não conformidades encontradas. Posteriormente o usuário pode preencher o checklist dos 5 itens inspecionados por VANT que não são inspecionados pelo Custom Vision. Por fim, o relatório da inspeção por VANT é gerado, constituído por uma tabela dos 16 itens inspecionados e seus status (Figura 6), além das fotos de cada bloco com a identificação das não conformidades encontradas (Figura 7).

**Figura 6 - Inspeção VANT: Adicionar imagens, Processamento automático, Checklist e Relatório VANT**

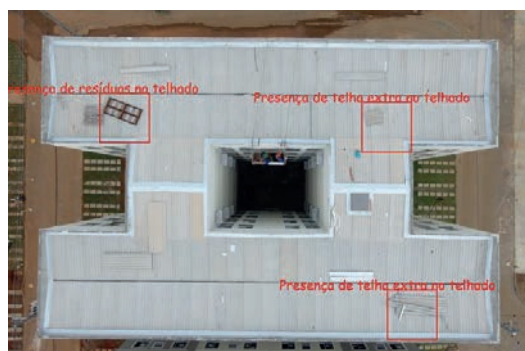


Fonte: Os autores.



Ao escolher o recurso Inspeção Complementar, inicia-se o checklist dos 22 itens inspecionados presencialmente de cada bloco, podendo ser preenchidos por “Conforme”(C), “Não conforme”(NC) ou “Não se aplica”(NA). Em seguida, um espaço é aberto para inserção de imagens para cada item preenchido como “Não conforme” na página anterior. Por fim, o relatório da inspeção complementar é gerado, constituído por uma tabela dos 22 itens inspecionados e seus status (C, NC ou NA), além das imagens de cada não conformidade inserida (Figura 8).

**Figura 7 – Identificação das não conformidades por foto**



Fonte: Os autores.

**Figura 8 – Inspeção Complementar: Checklists, Adicionar Imagens e Relatório**



Fonte: Os autores.

#### 4) Geração de Relatórios na Plataforma Smart Inspects Obras

Essa etapa visa elaborar o relatório para a obra em estudo e apresentar as não conformidades e patologias indicando o telhado no qual foi identificado (por exemplo, por bloco ou torre) e as suas respectivas imagens. No Sistema, retornando ao Menu da inspeção e escolhendo a opção Relatórios, o usuário encontrará o Relatório da inspeção VANT, Relatório da inspeção Complementar ou o Relatório conjugado (relatório completo da inspeção, contemplando o relatório da inspeção por VANT e o da Inspeção Complementar).

## 5. CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

Este trabalho propôs uma plataforma web que permite a automatização do processo de inspeção de estruturas de telhado por meio da utilização de drones, técnicas de visão computacional com alto potencial para tornar esse processo mais ágil e eficiente. Os ativos capturados pelo drone são facilmente analisados pelo modelo de visão computacional desenvolvido e compilados com outros dados para geração de relatórios no sistema web, acessado em computadores ou dispositivos móveis.

Após os testes para reconhecimento das patologias utilizando imagens originais e artificiais no software Custom Vision, foi possível treinar 11 classes de patologias, obtendo-se um percentual de 77,08% de precisão nos testes para identificação dessas não conformidades em imagens de telhados obtidas por drones para fins de assistência técnica.

Assim, a plataforma web proposta embarcada com o reconhecimento automático de parte das patologias, possibilitando aumentar a transparência na identificação destas, simplificando etapas de realização da inspeção, a partir de coleta de dados célere com drone, bem como processamento de imagens automático com inteligência artificial, diminuindo assim o tempo e custo de realização das inspeções de telhado, agilizando a entrega de relatórios e aplicação de ações corretivas.

Como próximas etapas deste trabalho, será dada continuidade ao desenvolvimento da plataforma com novas etapas de testes em campo e ajustes do processamento de imagens, visando conseguir identificar novas classes e aumentar a precisão de identificação das classes identificáveis.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

CONCEIÇÃO, J.; POÇA, B.; BRITO, J.; FLORES-COLEN, I.; CASTELO, A. Inspection, Diagnosis, and Rehabilitation System for Flat Roofs. In: **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 31, n. 6, p. 04017100, 2017.

FANG, W.; DING, L.; ZHONG, B.; LOVE, P.; LUO, H. Automated detection of workers and heavy equipment on construction sites: A convolutional neural network approach. In: **Advanced Engineering Informatics**, v. 37, p. 139-149, 2018.

GARCEZ, N.; LOPES, N.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. System of inspection, diagnosis and repair of external claddings of pitched roofs. In: **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 1034-1044, 2012.

KAAMIN, M.; AHMAD, N.; RAZALI, S.; MOKHTAR, M.; NGADIMAN, N.; MASRI, D.; HUSSIN, I.; ASRI, L. Visual Inspection of Heritage Mosques Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Condition Survey Protocol (CSP) 1 Matrix: A Case Study of Tengker Mosque and Kampung Kling Mosque, Melaka. In: **Journal Of Physics: Conference Series**, v. 1529, p. 032107, 2020.

KRAWCZYK, J.; MAZUR, A.; SASIN, T.; STOKLOSA, A. Infrared building inspection with unmanned aerial vehicles. In: **Transactions of the Institute of Aviation**, v. 240, n. 3, p. 32-48, 2015.

LIN, J.; IBRAHIM, A.; SARWADE, S.; GOLPARVAR, M. Bridge Inspection with Aerial Robots: Automating the Entire Pipeline of Visual Data Capture, 3D Mapping, Defect Detection, Analysis, and Reporting. In: **Journal of Computing in Civil Engineering**. Vol. 35, No. 2, 2021.

NATH, N.; BEHZADAN, A.; PAAL, S. Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment, In: **Automation in Construction**, v. 112, 2020.

RAZALI, S. et al. Application of UAV and Csp1 Matrix for Building Inspection at Muzium Negeri, Seremban. In: **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 8, p. 1366-1372, 2019.

SILVEIRA, B.; MELO, D.; COSTA, D. Using UAS for Roofs Structure Inspections at Post-Occupational Residential Buildings. In: Toledo Santos E., Scheer S. (eds) Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. ICCCBE 2020. **Lecture Notes in Civil Engineering**, vol 98. Springer, Cham.

STAFFA, L.; SÁ, L.; LIMA, M.; COSTA, D. Uso De Técnicas De Processamento De Imagem Para Inspeção De Estruturas De Telhados De Edificações Para Fins De Assistência Técnica. In: ENTAC, v. 18, 2020, Porto Alegre. **Proceedings...** Porto Alegre: ENTAC, 2020.

# MÉTODO PARA AUTOMATIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE MODELOS BIM 4D INTEGRADO COM PLANEJAMENTO BASEADO EM LOCALIZAÇÃO E SISTEMA LAST PLANNER®

*Aluno:* Bruno Falcón Silveira  
*Orientadora:* Dayana Bastos Costa

## RESUMO

Apesar de diversos estudos abordarem o uso do BIM 4D no canteiro de obras, pouco tem sido discutido acerca da necessidade de automatização dos processos para geração dos modelos 4D e sua utilização em conjunto com o Planejamento e Controle da Produção Baseado em Localização (LBP). O presente trabalho visa propor um método automatizado para geração dos modelos BIM 4D integrado ao LBP. A estratégia de pesquisa adotada para o estudo foi a Design Science Research (DSR), tendo sido realizado em empresa de médio porte que constrói empreendimentos de prédios residenciais. As principais etapas do estudo foram: (a) compreensão do problema; (b) estudos de caso, abordando a geração dos modelos 4D e a sistemática de processamento e coleta de dados; (c) análise dos dados, por meio dos resultados de indicadores e relatórios dos modelos 4D; e (d) avaliação com base nos constructos definidos - Impacto da automatização dos processos, Impacto na identificação e avaliação do progresso da obra e no processo de planejamento, Facilidade de adoção, Utilidade do método proposto. Os resultados dos estudos indicaram aumento da aderência entre o planejado e o executado, sendo possível identificar melhoria na comunicação do planejamento e controle da produção pelo uso dos modelos 4D. Além disso, foram estabelecidas rotinas para automatização da vinculação do planejamento com o modelo 3D e identificadas relações entre os produtos e processos do método proposto com os Modelos Digitais. A principal contribuição do estudo é referente à criação de processos automatizados e com passos simplificados para geração do BIM 4D para melhoria do processo de planejamento.

**Palavras-chave:** BIM 4D. Planejamento de Produção. Controle de Produção. Planejamento baseado em Localização.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso do Building Information Modeling (BIM) mudou a forma de projetar, executar e operar edifícios (HAMDI; LEITE, 2014). Apesar de ser amplamente utilizado na fase de projeto, o BIM representa grande potencial na fase de construção, principalmente ao utilizar o BIM 4D integrado ao planejamento e controle da construção (HEIGERMOSER et al., 2019). Entretanto, os usuários dos modelos BIM 4D ainda encontram barreiras para sua utilização efetiva, como o esforço despendido na vinculação dos elementos do modelo BIM 3D aos pacotes de trabalho do planejamento, os custos de modelagem e o treinamento (LEITE et al. 2016; CHO et al., 2019; ALTUN; AKCAMETE, 2019). Esses modelos precisam ser atualizados regularmente para refletir efetivamente as condições reais (as-built) durante a construção, mas as equipes de PCP e os terceirizados geralmente não recebem relatórios de progresso com frequência adequada (NAVON; SACKS, 2007).



Portanto existe uma lacuna quanto à necessidade de automatizar a geração de modelos BIM 4D, incluindo os processos envolvidos no controle de produção (modelo as-built) para possibilitar o uso efetivo em toda a fase de construção. Uma das alternativas para a automatização de modelos 4D é alcançada por meio de um framework de modelagem compatível de elementos BIM e a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) para facilitar o agendamento automatizado (ALTUN; AKCAMETE, 2019). Além disso, há a necessidade de soluções que incorporem automaticamente os dados de progresso e atualizem o agendamento dos pacotes de trabalho associados aos elementos do modelo 3D (HAMLEDARI et al., 2017). A ligação entre BIM e planejamento pode ser automatizada usando os seguintes métodos: (a) criar um sistema de codificação consistente entre atividades e elementos BIM: consiste em criar regras de correspondência baseadas em código, elementos de modelo 3D e atividades de planejamento são geralmente codificadas com um Identificador Único Comum (CUI)(CIRIBINI et al., 2016; CHENG et al., 2017); e (b) criar um sistema de linguagem consistente entre atividades e elementos BIM: consiste em criar regras de correspondência baseadas em linguagem que combinam elementos do modelo 3D com atividades por seus nomes (MONTASER; MOSELHI, 2015; CHENG et al., 2017).

Como os elementos e atividades 3D já têm seus nomes antes de serem importados para o software de simulação, o tempo de criação de regras de correspondência da metodologia baseada em linguística é menor do que a metodologia baseada em codificação (TORRES-CALDERON et al., 2019). No entanto, a precisão do sistema de codificação é exata, ao contrário do sistema linguístico, no qual podem ocorrer erros (TORRES-CALDERON et al., 2019).

A geração e utilização automatizada de modelos BIM 4D pode ser associada ao conceito de Gêmeos Digitais (GD), no que diz respeito às definições e graus de automação. Schluse et al. (2018) definiram GD como uma réplica virtual de um ativo físico, e Gabor et al. (2016) descreveram GD como uma simulação do próprio objeto físico para prever estados futuros do sistema. Tratando-se da dinâmica de interação entre objetos físicos e virtuais, Tao et al. (2019) entendem que a interação bidirecional dinâmica de objetos físicos e modelos virtuais são elementos-chave dos gêmeos digitais. Schluse et al. (2018) definiram GD como uma réplica virtual de um ativo físico e Gabor et al. (2016) descreveu GD como uma simulação do próprio objeto físico para prever estados futuros do sistema. Tratando-se da dinâmica de interação entre objetos físicos e virtuais, Tao et al. (2019) entendem que a interação bidirecional dinâmica de objetos físicos e modelos virtuais são elementos-chave dos gêmeos digitais.

Portanto categorias distintas de GD existiriam dependendo do nível de integração e automação de dados (BORGO, 2014). A esse respeito, Kritzinger et al. (2018) propõem três categorias de GD: (a) Modelo Digital (MD), em que não há transferência automatizada de dados entre o objeto físico e o objeto virtual; (b) Sombra Digital, em que há um fluxo de dados unidirecional automatizado entre os objetos físicos e virtuais; e (c) Gêmeo Digital, com integração de dados bidirecional totalmente integrada e automatizada entre o objeto físico existente e o objeto virtual.

O GD utilizando BIM para Planejamento e Controle da Produção pode ser visto como a representação instantânea da obra executada no momento de interesse (SCHLUSE et al., 2018), com a informação do status do objeto físico passando para o virtual. O retorno da informação (do objeto virtual para o físico) é a visualização do progresso físico da obra no futuro (modelo as-planned), à semelhança da definição de Gabor et al. (2016). Assim, o modelo 4D seria categorizado de acordo com o nível de au-

tomação do fluxo de informações entre o objeto real e o virtual, conforme definido por Kritzinger et al. (2018). Esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um Modelo Digital, embora haja transferência de dados no modelo proposto com certo grau de automação, essa transferência não é instantânea.

A adoção do Planejamento Baseado em Localização (LBP) como um sistema de planejamento e controle de produção pode facilitar a automação de processos. O LBP tem a vantagem de tornar o fluxo de trabalho explícito, permitindo a simulação de alternativas para o sequenciamento das atividades e, simultaneamente, trazer informações sobre quando e onde cada atividade deve ser realizada junto às unidades de produção (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Além disso, o sistema Last Planner® pode apoiar a implementação de modelos BIM 4D e ciclos de controle de produção em diferentes níveis hierárquicos.

O Planejamento Baseado em Localização (LBP) é um método de planejamento orientado ao fluxo de trabalho, que busca modelar e vincular atividades com unidades mensuráveis de produção e localização, como torres, andares ou apartamentos. Uma contenção é criada (o local para executar o pacote de trabalho) para as informações monitoradas e analisadas no nível necessário (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Os locais são definidos para o projeto por meio de uma Estrutura Analítica de Localização (EAL), semelhante a uma EAP. A metodologia pode possibilitar o agrupamento das informações da construção. Pode ser considerada uma metodologia para interagir com o BIM, aproveitando a modelagem 3D para produzir vistas 4D e 5D do projeto.

De acordo com Ballard e Tommelein (2020), o Sistema Last Planner® (LPS) pode ser utilizado com métodos de planejamento baseados em localização para determinar a sequência de pacotes de trabalho entre os locais, tornando explícito o uso do espaço e, assim, tornando possível agilizar a fluxo de trabalho ainda mais. Além disso, o LPS é uma técnica de planejamento colaborativo baseada em compromissos para melhorar a confiabilidade do fluxo de trabalho por meio de um planejamento confiável, protegendo as equipes da incerteza por meio do planejamento vertical (BALLARD; TOMMELEIN, 2020).

Portanto, o objetivo principal deste estudo é desenvolver um método para automatizar os processos de geração e utilização de modelos BIM 4D integrados ao LBP e LPS que suportem o PCP. Esse método visa aumentar o uso de modelos BIM 4D em campo e melhorar a confiabilidade do planejamento e controle da produção, servindo como uma fonte de dados mais ágil e diminuindo a discrepância entre as atividades planejadas e executadas.

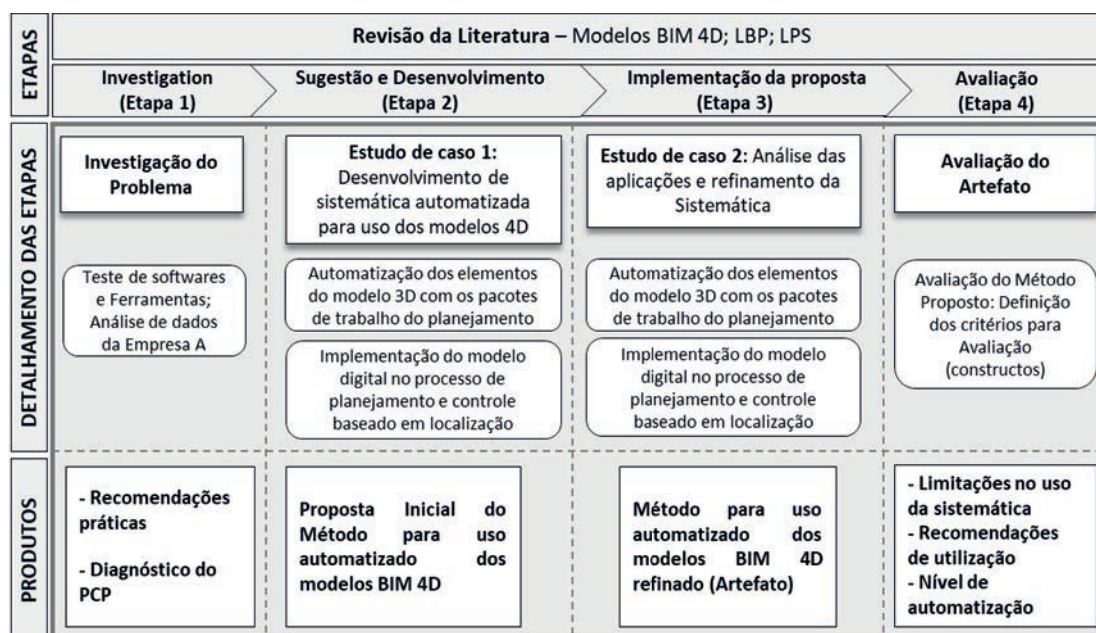
## 2. MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada neste estudo é a Design Science Research (DSR). Esta estratégia justifica-se por ser uma abordagem que visa produzir projetos inovadores destinados a resolver problemas enfrentados no mundo real, contribuindo assim para a teoria da área em que está sendo aplicada (LUKKA, 2003). O artefato proposto neste estudo é o método automatizado para geração de modelos BIM 4D, explorando sua integração com LBP e LPS e auxiliando no planejamento e controle do projeto.

A primeira etapa da pesquisa teve como objetivo identificar e compreender o problema de pesquisa por meio de revisão de literatura, diagnóstico do sistema de planejamento e controle da

produção e teste de software e ferramentas. A segunda etapa teve como objetivo desenvolver o método automatizado para utilização dos modelos 4D com base no Estudo de Caso 1. E a terceira etapa teve como objetivo refinar o método proposto com base no Estudo de Caso 2. A etapa final envolveu a avaliação do método proposto com base em constructos (Figura 1).

**Figura 1 – Delineamento do Estudo**



## 2.1 ESTUDOS DE CASO

Dois estudos de caso (Etapa 2 e 3) foram desenvolvidos na Empresa A, que é uma construtora de médio porte no Brasil, com 33 anos no setor e mais de 30.000 unidades habitacionais entregues. O Estudo de Caso 1 foi desenvolvido no Projeto A de agosto de 2020 a março de 2021, e o Estudo de Caso 2 foi desenvolvido no Projeto B de fevereiro a junho de 2021.

As características do Projeto A são: área construída - 19.618,78 m<sup>2</sup>; total de 400 unidades - 20 prédios - 5 pavimentos; prazo de construção - 16 meses; tecnologias construtivas - estrutura de parede de concreto moldado in loco. Quanto ao Projeto B: área construída - 22.585,27 m<sup>2</sup>; total de 220 unidades - 1 torre - 27 pavimentos; prazo de construção - 22 meses; tecnologias construtivas - estrutura de parede de concreto moldado in loco.

Os estudos de caso 1 e 2 ocorreram de forma semelhante, tendo como principais etapas: (a) Automatização da vinculação dos elementos do modelo 3D aos pacotes de trabalho do planejamento; e (b) Implementação do MD considerando o nível hierárquico de planejamento. Essas etapas são detalhadas a seguir.

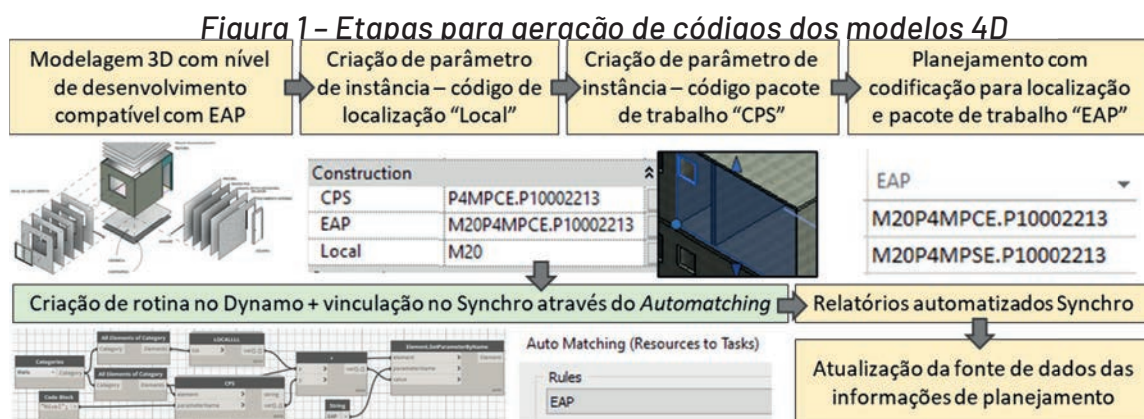
### AUTOMATIZAÇÃO DA VINCULAÇÃO DOS ELEMENTOS DO MODELO 3D AOS PACOTES DE TRABALHO DO PLANEJAMENTO

A associação dos elementos do modelo 3D com os pacotes de trabalho do planejamento envolveu a criação de um sistema de codificação que vincula a informação do local e o pacote de trabalho a ser executado. Cada elemento do modelo 3D recebe um código executando uma rotina no Dyna-

mo, um plugin para o software Revit (Figura 2). O código de localização inserido no Revit é um parâmetro de instância e é formado pela união de parâmetros nativos do Software BIM (Revit) criado pela Empresa A. A rotina desenvolvida utilizou os parâmetros existentes adotados pelo Revit para compor o código de localização, como a indicação do pavimento no qual se encontra o elemento por meio do parâmetro “nível”.

O código de localização incluía as informações do prédio, pavimento, meio pavimento e apartamento. Os dois primeiros foram coletados automaticamente nos parâmetros existentes do Revit pelo Dynamo. Ao mesmo tempo, os dois últimos precisavam ser inseridos manualmente apenas nos pacotes de trabalho que correspondiam a esse nível de EAL. O código de identificação do pacote de trabalho, denominado Composição de Preços de Serviço (CPS), é obtido do banco de dados da Empresa A.

O Quadro 1 apresenta a estrutura do código que detalha as informações do código EAP utilizado como chave para a troca de informações entre os diferentes softwares e ferramentas do estudo. A rotina do Dynamo identifica e lista todos os códigos CPS locais nos elementos de categoria e vincula os dois em um novo parâmetro no modelo BIM chamado código EAP. Além disso, a mesma codificação (código EAP) está presente em uma coluna de planejamento no arquivo MS Project™, permitindo a ligação automática entre os dois.



**Quadro 1 – Resumo das informações que compõem a estrutura do código EAP**

Descrição Local	Código Local	Descrição CPS	Código CPS	Código EAP (Local.CPS)
<b>Código Completo</b>	M13P3MPC EA301	Código Completo	P10002201	M13P3MPCEA 301.P10003103
<b>Identificação do prédio</b>	M13	Identificação do tipo	P	-
<b>Identificação do pavimento</b>	P3	Identificação da tipologia	1	-
<b>Identificação do meio pavimento</b>	MPCE	Expansão dos códigos	000	-
<b>Identificação do apartamento</b>	A301	Identificação do grupo de serviço	22	-
-	-	Identificação do serviço	01	-

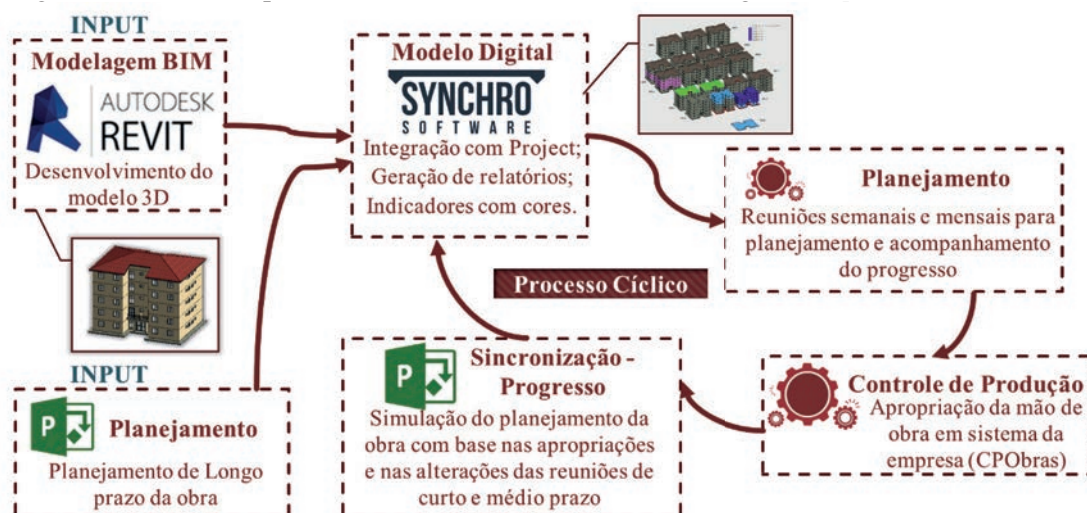


## IMPLEMENTAÇÃO DO MD CONSIDERANDO O NÍVEL HIERÁRQUICO DE PLANEJAMENTO

Os processos de modelagem e planejamento e controle da produção nos Projetos A e B envolveram a integração de três principais ferramentas utilizadas pela Empresa A: (a) CPObras - sistema on-line de planejamento e controle da produção desenvolvido pela Empresa A; (b) MS Project™ - preparação e análise preliminar dos pacotes de trabalho do planejamento; e (c) BIM - Modelagem 3D do projeto no software Revit e Synchro Pro para modelagem 4D. Todas as quatro ferramentas funcionam com base nas informações associadas ao local.

O LBP foi utilizado para estruturar o planejamento e facilitar sua integração com o BIM, por meio da divisão do canteiro de obras em localizações. O LPS foi utilizado para implementar o método proposto durante a fase de construção por meio dos níveis hierárquicos de planejamento. A Figura 3 mostra o fluxo simplificado das etapas de uso integrado e automatizado do modelo 4D com as informações planejadas e executadas, denominado Modelo Digital (as-planned e as-built) e LBP adotado ao longo do período de estudo. Cada uma das etapas é detalhada a seguir.

**Figura 3 - Fluxo dos processos adotados de PCP e Modelo Digital (as-planned e as-built)**



### a) Plano Mestre (Planejamento de Longo Prazo)

O objetivo das reuniões do Plano Mestre realizadas no Projeto A (3 reuniões) e B (2 reuniões) foi definir a EAL e EAP, durações, rede predecessora e uma sequência de execução dos locais do canteiro. As datas de entrega e conclusão dos pacotes de trabalho críticos foram identificadas e a EAL foi estabelecida com a participação ativa do engenheiro de produção no Projeto A e B. O desenvolvimento do plano mestre adotou ferramentas como as redes de precedência CPM e a Linha de Balanço (LoB). Outra decisão importante nesse nível foi definir a data de chegada de materiais específicos, como esquadrias, elevadores e cerâmicas. Por fim, foram testados planos alternativos, com sua visualização por meio de simulação 4D e a identificação de possíveis interferências entre as atividades.

## b) Modelo Digital (modelo *as-planned* e *as-built*)

Depois que o plano mestre e a modelagem 3D foram concluídos com a codificação EAP apropriada, o modelo 4D foi gerado. O modelo 3D foi exportado do Revit por meio de um plugin fornecido pela Bentley, que permite a extração das informações que o usuário necessita, incluindo o código EAP. O arquivo extraído foi importado para o Synchro para prosseguir com o modelo 4D. Depois de vincular automaticamente os elementos do modelo BIM 3D importados aos pacotes de trabalho de planejamento, as atualizações do curto e do médio prazo só precisavam ser sincronizadas, atualizando as novas informações de cronograma, progresso e restrição no modelo 4D. Os relatórios gerados a partir do Modelo BIM 4D foram: (1) informações do modelo *as-planned*; (2) informações do modelo *as-built*; (3) modelo com representação de restrições; e (4) atividades atrasadas.

## c) Planejamento de Médio Prazo

O planejamento de médio prazo ocorreu por meio de reuniões (4 para o Projeto A e 3 para o Projeto B) que aconteciam uma vez por mês com a análise das atividades previstas no plano mestre que teriam início nos três meses seguintes. O Índice de Remoção de Restrições (IRR) foi utilizado para essa análise. O acompanhamento do médio prazo foi realizado por meio da atualização dos MDs (informações de progresso) e geração de relatórios. Como o médio prazo ocorreu simultaneamente com a reunião do curto prazo, sua duração foi maior (cerca de duas horas) do que apenas as reuniões do curto prazo. Ainda nessa etapa, foi realizada a seleção e definição dos indicadores (Desvio de Prazo da Obra - DP e Índice de Remoção de Restrições - IRR) coletados ao longo da implantação para comparar as metas do plano mestre para identificar o desvio da previsão inicial para o projeto.

$$DP = \frac{\text{Prazo real de exec.} - \text{Prazo previsto de exec.}}{\text{Prazo previsto de execução}} \times 100$$

$$IRR = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ restrições removidas}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de restrições}} \times 100$$

## d) Planejamento de Curto Prazo

O curto prazo foi operacionalizado por meio de reuniões semanais (11 para o Projeto A e 8 para o Projeto B), que envolveram o planejamento das atividades que seriam executadas naquela semana e a verificação se as atividades planejadas para a semana anterior foram executadas dentro do prazo. Os indicadores utilizados no curto prazo foram Percentual de Planos Concluídos (PPC) (PPC - Número de pacotes de trabalho 100% concluídos em relação ao número de pactos de trabalho planejado, multiplicado por 100) e Causas de Não Conclusão de Pacotes de Trabalho (CNCPT - % de cada causa de não conclusão de pacotes de trabalho na semana). O MD foi usado para expor o planejamento para a equipe de planejamento e controle de produção durante a reunião, com um display de pacotes de trabalho e dispositivos visuais para controlar o status dos pacotes de trabalho. O MD apoia a negociação, o comprometimento e a identificação dos motivos da não conclusão dos pacotes de trabalho. O modelo também foi utilizado para identificar conflitos entre equipes e orientar as equipes sobre onde a atividade deveria ser realizada.

## e) Controle da Produção

Com as definições dos planejamentos de curto e médio prazo, a equipe de planejamento e controle de produção do canteiro realizou os acompanhamentos da produção. Os auxiliares de engenharia vão a campo realizar a coleta de dados sobre o status dos pacotes de trabalho. Esses dados incluem a coleta de dados de produção das equipes, identificando quais locais já estão em execução ou em andamento e inserindo essas informações no sistema de planejamento e controle de produção on-line da empresa, que posteriormente foi usado para retroalimentar o planejamento com dados de progresso.

## f) Sincronização do Progresso da Construção

A sincronização dos dados de progresso para o MD ocorreu logo antes do médio prazo e das reuniões do curto prazo para atualização das informações exibidas no modelo. Com base nesse modelo atualizado, discutiu-se o progresso alcançado na semana/mês e as metas para as semanas seguintes. Suponha que haja mudanças nas datas e sequências do planejamento da produção nas reuniões. Nesse caso, as informações são inseridas automaticamente no software CPObras e integradas ao MS Project™ por meio de uma planilha Excel, necessária para mesclar as informações no MS Project™. Em seguida, o modelo 4D é atualizado e o relatório é gerado e disponibilizado para a equipe de planejamento e controle da produção.

## 2.2 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

A avaliação do método para automatização dos processos de geração e utilização de modelos BIM 4D integrados com LBP e LPS foi baseado em um conjunto de constructos (Quadro 2). Foram utilizadas múltiplas fontes de evidências obtidas ao longo da implementação, como observação participante, análise de indicadores e relatórios, além da percepção dos participantes dos estudos de caso a partir de entrevistas semiestruturadas (11 entrevistados somando os projetos A e B). A avaliação da percepção dos usuários foi baseada em questões objetivas e subjetivas: (a) Questões objetivas qualitativas (escala Likert): avaliam o grau de impacto sobre as principais variáveis, com pontuação variando de 1 a 5, em que 1 representou o nível mais baixo e 5 o nível mais alto; e (b) Questões subjetivas: para os constructos listados, foram elaboradas questões subjetivas para que o entrevistado pudesse se aprofundar em determinados pontos e detalhar os motivos das pontuações atribuídas nas questões objetivas.

**Quadro 2 – Constructos e variáveis para avaliação do artefato**

CONSTRUCTOS	VARIÁVEIS
<b>Impacto da automação de processos</b>	A. Disponibilidade dos relatórios e modelos 4D no prazo adequado B. Disponibilidade dos relatórios e modelo 4D na frequência adequada
<b>Impacto na identificação e avaliação do progresso da construção e no processo de planejamento</b>	C. Impacto na visualização da sequência de atividades planejadas D. Avaliar cenários alternativos e atividades de replanejamento E. Visualização de atividades internas usando modelos 4D F. Visualização de atividades externas usando modelos 4D G. Impacto dos indicadores na comunicação do planejamento e progresso da construção H. Impacto do CPObras relacionado à comunicação do planejamento e progresso da construção
<b>Facilidade de adoção</b>	I. Facilidade em entender as informações da reunião J. Fácil visualização, manuseio e análise das informações do CPObras K. Fácil visualização, manuseio e análise de modelos BIM 4D
<b>Utilidade do método proposto</b>	L. Atender às necessidades de informação do planejamento e controle da produção de campo e escritório M. Importância das reuniões de planejamento N. Importância do Levantamento e Análise de Restrições



### 3. RESULTADOS

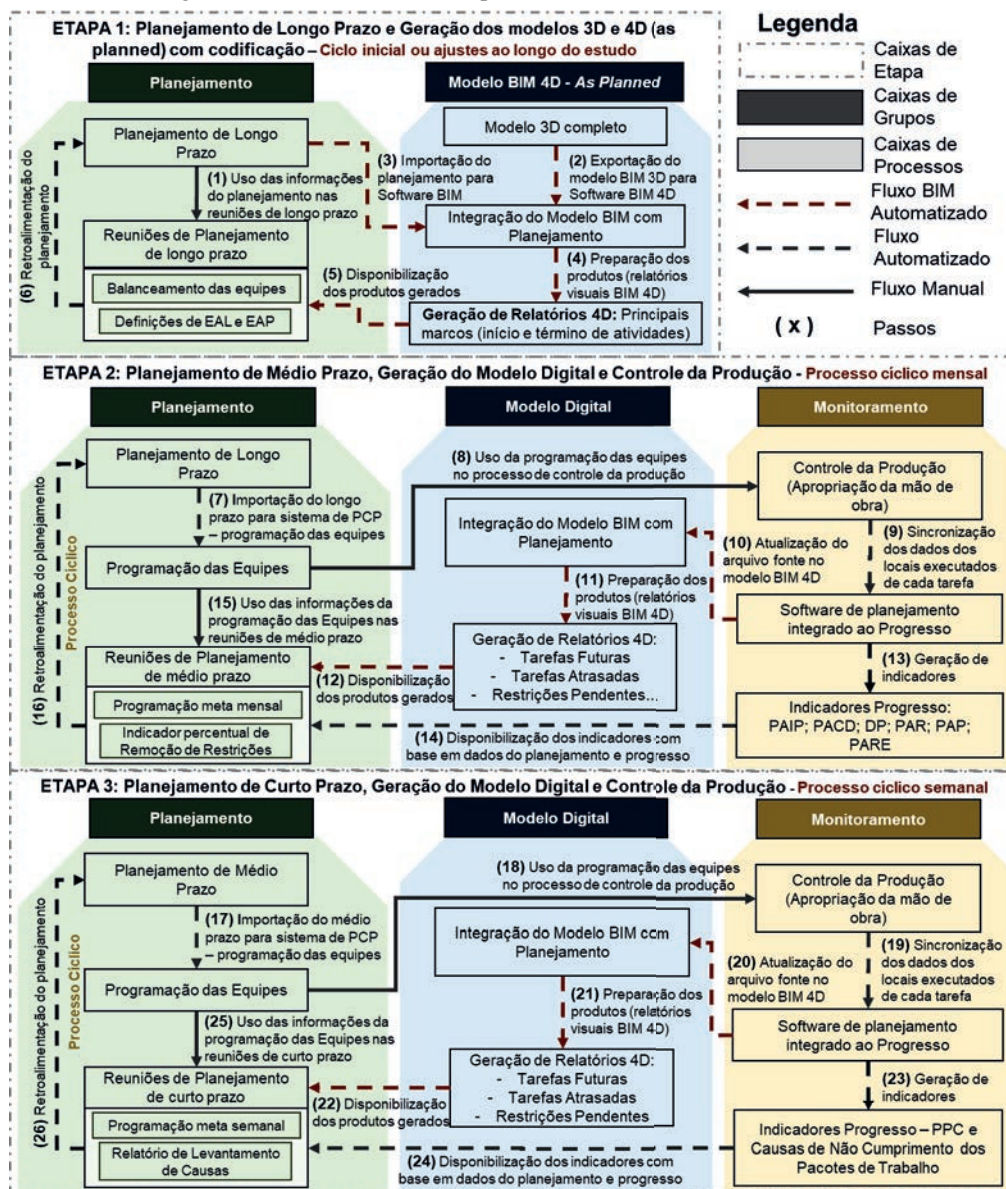
Esta seção apresenta os principais resultados da pesquisa.

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PARA AUTOMATIZAR OS PROCESSOS DE GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE MODELOS BIM 4D INTEGRADOS COM O LBP E LPS

O método proposto descreve os processos e as tecnologias envolvidos na geração automatizada do Modelo Digital (MD) e é representado em três etapas e grupos (Figura 4) de acordo com as seguintes considerações:

- As etapas representam o nível de planejamento hierárquico (Plano Mestre, Planejamento de médio prazo e Planejamento de curto prazo);
- Os grupos representam processos com objetivos específicos (Planejamento, Modelo Digital (as-planned e as-built) e Monitoramento);
- As setas contínuas representam processos manuais; as setas pretas tracejadas representam processos automatizados não relacionados ao BIM; as setas tracejadas em vermelho escuro representam processos automatizados relacionados ao BIM; e
- As etapas representam o conjunto de atividades para avançar de um processo para o seguinte.

Figura 4 - Estrutura do Método para uso automatizado dos modelos 4D





### 3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O método proposto estabeleceu três grupos, que são (a) Planejamento, (b) Modelo Digital e (c) Monitoramento, com os níveis hierárquicos sendo Plano Mestre, Planejamento de Médio Prazo e Planejamento de Curto Prazo, conforme discutido a seguir. Observe que, quando não há uma ação especificada se for Projeto A ou B, refere-se às ações realizadas em ambos os casos.

#### **IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 1 – PLANO MESTRE E GERAÇÃO DE MODELOS 3D E 4D (AS-PLANNED) COM CODIFICAÇÃO**

A Estrutura Analítica de Localização (EAL) adotada para o Projeto A foi dividida em 5 níveis (Canteiro A - 1; Edifícios - 2; Pavimento - 3; Meio Pavimento - 4; Apartamento - 5) e 4 níveis para o Projeto B (Canteiro B - 1; Pavimento - 2; 1/5 Pavimento - 3; Apartamento - 4). Um ponto interessante é o quarto nível do EAL para o Projeto A e o terceiro nível para o Projeto B, que engloba o meio pavimento do Projeto A e as subdivisões do pavimento do Projeto B, criadas para cobrir a concretagem ocorrida em momentos diferentes para a execução completa de um pavimento tipo. O modelo BIM foi desenvolvido de acordo com a EAP proposta. No entanto, um aspecto importante são as camadas de revestimento e pintura, modeladas como diferentes tipos de paredes. Essa modelagem permitiu a associação de quantidades às composições de custos correspondentes e possibilitou a simulação 4D desses pacotes de trabalho.

#### **IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 2 – PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO, MODELO DIGITAL E CONTROLE DE PRODUÇÃO**

Nas reuniões de planejamento de médio prazo, foi apresentada a Linha de Balanço com os pacotes críticos de trabalho planejados para os próximos três meses. Relatórios BIM 4D foram importados para o software CPObras para auxiliar a gestão da obra na realização das reuniões. Um exemplo dos relatórios extraídos dos modelos é apresentado na Figura 5. A utilização dos relatórios e do modelo BIM 4D em campo permitiu a identificação clara e objetiva dos pontos de interesse para a reunião, servindo também de auxílio às demais funcionalidades incluídas no sistema de planejamento e controle de produção on-line.

#### **IMPLEMENTAÇÃO DA ETAPA 3 – PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO, MODELO DIGITAL E CONTROLE DE PRODUÇÃO**

A implementação da Etapa 3 envolveu visitas semanais para participação nas reuniões de curto prazo. O MD do projeto foi visualizado por todos os participantes por meio de uma tela de TV, na qual puderam manusear o modelo para estudar pontos específicos. Na véspera do encontro, os pesquisadores geraram um relatório nos softwares Power BI e CPObras com os indicadores e relatórios do MD, disponibilizando para a equipe de planejamento e controle da produção. Caso houvesse necessidade de ajustes de planejamento durante as reuniões, as informações e relatórios eram atualizados para auxiliar a equipe de produção.

Figura 5 – Modelo 4D dos pacotes de trabalho planejados para cada semana



### 3.3 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Esta seção apresenta a avaliação do método proposto. A Tabela 1 mostra as notas médias atribuídas pelos 11 entrevistados para cada variável analisada relacionada aos constructos definidos em uma Escala Likert de 1 a 5, no qual 1 representou o nível mais baixo e 5 o nível mais alto do impacto do método proposto.

As variáveis A e B receberam nota satisfatória (4,64), entretanto, essas variáveis provavelmente não atingiram nota máxima devido ao não cumprimento da entrega do relatório em duas reuniões semanais (por problemas de hardware) e à frequência dessa entrega com restrições pendentes (Tabela 1). Durante as entrevistas, foi mencionado mais de uma vez sobre o envio do relatório quinzenalmente em determinados casos, como contratação de mão de obra (15 dias é o tempo usual para contratação de funcionários na Empresa A). Por outro lado, a equipe de planejamento e controle da produção do Projeto B sempre se preparou com pelo menos um mês de antecedência para remover as restrições do pacote de trabalho e a periodicidade mensal foi suficiente para atender às suas necessidades.

Foi possível identificar que a visualização das atividades internas (variável E) ainda é um gargalo nos modelos BIM 4D. Mesmo com o esforço de separar as atividades internas e externas em diferentes relatórios, ainda havia certa sobreposição de elementos do modelo que dificultava sua visualização. Por outro lado, as atividades externas (variável F) foram facilmente identificadas, justificando a maior pontuação dos entrevistados.

Sobre a facilidade em compreender as informações das reuniões de planejamento (variável I), houve dificuldades em compreender a linha de balanço e estruturar a EAL do projeto (informações do Plano Mestre), o que pode ter influenciado negativamente na avaliação. Por outro lado, o curto e o médio prazo apontaram resultados positivos, principalmente pela geração de indicadores. Já o software CPObras (variável H) recebeu a maior pontuação por ser uma ferramenta interna que a Empresa A já utilizava em seus processos. Quanto à importância das reuniões de planejamento (variável M), houve influência negativa do Plano Mestre. A não participação de todos os entrevistados nessa etapa pode afetar essa resposta, pois eles não perceberam a origem das informações discutidas nos demais níveis hierárquicos.

*Tabela 1 – Resultado das entrevistas para avaliação das variáveis no Projeto A e B*

CONSTRUCTOS	VARIÁVEL	MÉDIA
Impacto da automação de processos	A. Disponibilidade dos relatórios e modelos 4D no prazo adequado	4.64
	B. Disponibilidade dos relatórios e modelo 4D na frequência adequada	4.64
Impacto na identificação e avaliação do progresso da construção e no processo de planejamento	C. Impacto na visualização da sequência de atividades planejadas	3.62
	D. Avaliar cenários alternativos e atividades de replanejamento	4.45
	E. Visualização de atividades internas usando modelos 4D	2.73
	F. Visualização de atividades externas usando modelos 4D	4.18
	G. Impacto dos indicadores na comunicação do planejamento e progresso da construção	4.64
	H. Impacto do CPObras relacionado à comunicação do planejamento e progresso da construção	4.36
Facilidade de adoção	I. Facilidade em entender as informações da reunião	4.00
	J. Fácil visualização, manuseio e análise das informações do CPObras	4.27
	K. Fácil visualização, manuseio e análise de modelos BIM 4D	3.45
Utilidade do método proposto	L. Atender às necessidades de informação do planejamento e controle da produção de campo e escritório	4.18
	M. Importância das reuniões de planejamento	3.85
	N. Importância do Levantamento e Análise de Restrições	4.18

Além disso, foram realizadas perguntas abertas aos entrevistados para compreender uma percepção geral sobre o uso do método e a identificação dos benefícios e barreiras enfrentados. Como benefícios: (a) facilidade de identificação de atrasos, progresso da construção, marcos e restrições por meio de modelos 4D; (b) auxilia na tomada de decisões, previsibilidade e transparência; (c) frequência adequada de geração dos produtos do método; e (d) a análise de restrições contribuiu para evitar o atraso de atividades críticas. Como potenciais de melhoria: (a) dificuldade em visualizar parte das atividades internas no modelo 4D; (b) limitações de hardware para manuseio e visualização dos modelos 4D e arquivos de planejamento dos equipamentos do canteiro de obras; (c) dificuldade de compreensão das informações geradas no Plano Mestre; e (d) atualização em tempo real do modelo 4D após inserir as informações de progresso.

## 4. CONCLUSÕES

Este estudo propôs um método para automatização dos processos de geração e utilização de modelos BIM 4D integrados ao LBP e LPS para suporte ao PCP. O planejamento baseado em localização

contribuiu para estruturar o canteiro de obras em locais bem definidos, auxiliando na criação do elo entre o planejamento e o MD, o que seria uma tarefa arduosa apenas com o LPS. Por outro lado, a estruturação do planejamento em diferentes níveis hierárquicos do LPS permitiu o planejamento e controle da produção de toda a fase de construção em diferentes tempos de ciclo, tornando-a mais colaborativa e transparente.

A automação proposta neste estudo pode ser utilizada para qualquer nível de LPS, gerando automaticamente o link entre o modelo BIM e o planejamento. O código EAP utilizado no estudo segue recomendações de estudos anteriores, incluindo Ciribini et al. (2016), Hamledari et al. (2017) e Altun e Akcamete (2019), para a criação de um sistema de codificação consistente entre atividades e elementos BIM por meio de uma correspondência exata.

Em relação à generalização e replicabilidade do método proposto, o código EAP pode ser facilmente replicado ou utilizado em outras empresas. Além disso, pode-se utilizar um sistema de classificação bastante difundido na literatura e conhecido pela maioria dos pesquisadores, como OmniClass, Uniformat e Masterclass. O software CPObras é uma ferramenta exclusiva para o contexto da Empresa A; portanto, não pode ser um elemento primário para a implementação do método. Assim, em outros contextos, o CPObras pode ser substituído pelo Excel, e a falta do CPObras implicaria apenas na perda das telas de planejamento desenvolvidas para os estudos de caso.

Este estudo também fornece avanços práticos no campo de conhecimento da automação BIM 4D. O processo de codificação do modelo 3D detalhado no método proposto possibilitou a introdução do BIM 4D nos processos da Empresa A, na qual antes havia um gargalo quanto ao tempo gasto nessa atividade. Portanto mostrou um importante esforço na redução do tempo de planejamento e geração de informações para apoiar a tomada de decisão. No entanto, automatizar o link entre os pacotes de trabalho de planejamento e os elementos do modelo 3D não significa que seu uso será o mais eficiente possível. Assim, é necessário adotar o método proposto para gerar produtos no menor tempo possível para utilizar o modelo 4D com as informações do progresso da construção.

Foi justamente essa contribuição referente ao uso automatizado de modelos 4D de forma cíclica que desencadeou uma análise na perspectiva dos Gêmeos Digitais aplicada ao processo de planejamento e controle da produção (não muito discutido na literatura). Entre os níveis de automação de GD discutidos pela literatura, o BIM 4D do método proposto se situaria como um modelo digital.

No mais alto nível de automação, o modelo virtual precisa ter um impacto em tempo real no ambiente físico. No entanto, como o planejamento é sobre um evento futuro, esse ambiente não existe, fazendo com que essa ação imediata pareça impossível. Portanto, para futuros trabalhos de forma abordar o mais alto nível de automação do conceito de GD, são necessários estudos para simulação do objeto físico para prever os estados futuros do sistema. Assim, seria possível atingir tal objetivo com uma rede de predecessoras formada e um sistema de controle de produção em tempo real (baseado na tecnologia IoT), caracterizando os passos futuros do presente estudo.



## 5. REFERÊNCIAS

- Altun, M. and Akcamete, A. (2019), **"A Method for Facilitating 4D Modeling by Automating Task Information Generation and Mapping"**, pp. 479–487.
- Ballard, G. and Tommelein, I.D. (2020), **2020 Current Process Benchmark for the Last Planner System of Project Planning and Control**.
- Cheng, J.C.P., Tan, Y., Song, Y., Liu, X. and Wang, X. (2017), "A semi-automated approach to generate 4D/5D BIM models for evaluating different offshore oil and gas platform decommissioning options", **Visualization in Engineering**, Vol. 5 No. 1.
- Ciribini, A.L.C., Mastrolembo Ventura, S. and Paneroni, M. (2016), "Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project", **Automation in Construction**, Elsevier B.V., Vol. 71, pp. 62–73.
- Tao, F.; Sui, F.; Liu, A.; Qi, Q.; Zhang, M.; Song, B.; Guo, Z.; Lu, S.C.-Y.; Nee, A.Y.C. (2019), "Digital twin-driven product design framework", **International Journal of Production Research**, Vol. 57 No. 12, pp. 3935–3953.
- Hamdi, O. and Leite, F. (2014), "Conflicting Side of Building Information Modeling Implementation in the Construction Industry", **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, Vol. 6 No. 3, p. 03013004.
- Hamledari, H., McCabe, B., Davari, S. and Shahi, A. (2017), "Automated Schedule and Progress Updating of IFC-Based 4D BIMs", **Journal of Computing in Civil Engineering**, Vol. 31 No. 4, pp. 04017012.
- Kenley, R. Seppänen, O. (2010), Location-Based Management for Construction. **Spon Press**. Abingdon.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J. and Sihm, W. (2018), "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification", IFAC-papers online, **Elsevier B.V.**, Vol. 51 No. 11, pp. 1016–1022.
- Leite, F., Cho, Y., Behzadan, A.H., Lee, S., Choe, S., Fang, Y., Akhavian, R., et al. (2016), "Visualization, Information Modeling, and Simulation: Grand Challenges in the Construction Industry", **Journal of Computing in Civil Engineering**, Vol. 30 No. 6, pp. 1–16.
- Lukka, K. (2003), "The Constructive Research Approach", In: **Case Study Research in Logistics**, Vol. Series B, pp. 83–101.
- Schluse, M., Priggemeyer, M., Atorf, L., Rossmann, J. (2018), "Experimental digital twins—streamlining simulation-based systems engineering for industry 4.0", **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, Vol. 14 No. 4, pp. 1722–1731.
- Montaser, A. and Moselhi, O. (2015), "Methodology for Automated Generation of 4D BIM", 5th International/11th **Construction Specialty Conference**, pp. 1–10.
- Navon, R., Sacks, R. (2007), "Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC)", **Automation in Construction**, Vol. 16, No. 4, pp. 474–484.
- Borgo, S. (2014), "An Ontological Approach for Reliable Data Integration in the Industrial Domain", **Computers in Industry**, Vol. 65 No. 9, pp. 1242–1252.
- Gabor, T., Belzner, L., Kiermeier, M., Beck, M.T., Neitz, A. (2016), "A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems", **IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC)**, pp. 374–379.
- Torres-Calderon, W., Chi, Y., Amer, F., Golparvar-Fard, M. (2019), "Automated Mining of Construction Schedules for Easy and Quick Assembly of 4D BIM Simulations", **Computing in Civil Engineering, American Society of Civil Engineers**, pp. 432–438.

# MELHORIA DA QUALIDADE DO AR A PARTIR DO USO DE ARGAMASSA AUTOLIMPANTE PRODUZIDA COM RESÍDUO INDUSTRIAL

*Alunos:* Nilson Santana de Amorim Júnior e Diana Dayse Mariano de Albuquerque  
*Orientador:* Daniel Vêras Ribeiro

## RESUMO

Entre os maiores problemas da atualidade estão a intensa produção de resíduos sólidos industriais e a crescente emissão de gases poluentes provenientes de diversos sistemas produtivos. Em virtude disso, os órgãos ambientais exigem critérios rígidos para o correto aproveitamento e disposição dos resíduos, e a construção civil está entre as indústrias que apresentam potencial para o reaproveitamento destes, por meio da incorporação a matrizes cimentícias, por exemplo. Nesse contexto, o minério não reagido (MNR), resíduo gerado no processo de produção de dióxido de titânio, apresenta um elevado potencial para utilização em argamassas fotocatalíticas (que promovem degradação de compostos orgânicos), uma vez que o anatásio, uma das principais fases do dióxido de titânio, presente nesse resíduo, é responsável por promover tais reações. Assim, o presente trabalho avaliou a utilização do MNR na produção de argamassas de revestimento com características fotocatalíticas, atuando na degradação dos gases poluentes NOx e de compostos orgânicos aderidos à superfície. Observou-se que o MNR apresenta grande potencial para incorporação a argamassas de revestimento, apresentando considerável atividade fotocatalítica, degradando até 50% dos gases NOx (um dos principais poluentes atmosféricos) e quase 100% da matéria orgânica (compostos ricos em carbono) aderida, apresentando, assim, capacidade de autolimpeza. Logo, sua aplicabilidade é, de maneira geral, de fácil execução e seu uso pode promover melhorias na qualidade de vida, além de benefícios econômicos a partir do aumento da vida útil das fachadas.

**Palavras-chave:** Argamassas de revestimento, Fotocatálise, Dióxido de Titânio, Resíduo Industrial, Argamassa Autolimpante.

## 1. INTRODUÇÃO

Considerada um dos grandes problemas contemporâneos, a elevada quantidade de resíduos gerados pela atividade humana se intensificou com a sistematização dos processos produtivos desde as Revoluções Industriais, exigindo esforços multidisciplinares para encontrar alternativas técnica e economicamente viáveis para a reutilização desses rejeitos. Além dos resíduos, uma das consequências mais graves dessa intensa produção industrial é a elevada geração de gases poluentes. Com o aumento da geração desses gases, prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana, houve uma intensificação no desenvolvimento de alternativas para a mitigação dessas emissões.

Os óxidos de nitrogênio (NOx), um dos principais poluentes atmosféricos, são considerados cerca de 300 vezes mais prejudiciais do que o gás carbônico segundo dados da Local Governments for Sustainability (ICLEI) e, em concentrações elevadas na atmosfera, produzem, por meio de reações químicas, altas taxas do ozônio ao nível do solo ("smog"), o que é altamente prejudicial à saúde humana. As estimativas de 2016 mostram que as principais fontes de poluição foram responsáveis pela emissão de 52,11 mil toneladas de NOx na cidade de São Paulo, sendo que, desse total, os automóveis abrangem 73,70% das emissões, segundo a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 2016). Além disso, nesse mesmo ano, em 43 dias, ultrapassou os limites considerados aceitáveis para a qualidade do ar em São Paulo (CETESB).

Uma alternativa promissora para resolver o problema da poluição devida à presença dos óxidos de nitrogênio (NOx) é a conversão fotoquímica dos NOx a nitratos de baixa concentração, por meio da oxidação fotocatalítica heterogênea, utilizando dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) como fotocatalisador. Diversos produtos contendo TiO<sub>2</sub> já estão disponíveis no mercado, e os seus mecanismos de reação em condições de laboratório já estão comprovados. Porém, ainda falta a transformação dos resultados experimentais obtidos em condições de laboratório para aplicações práticas, considerando condições reais (HUSKEN; HUNGER; BROUWERS, 2009).

Vários pesquisadores (BEELDENS, 2006; POON; CHEUNG, 2007; CHEN; POON, 2011; HUSKEN; HUNGER; BROUWERS, 2009; MELO; TRICHÊS, 2012; CASAGRANDE et al., 2012) estudaram recentemente a eficácia da incorporação de partículas de dióxido de titânio na promoção da atividade fotocatalítica na superfície das argamassas de revestimento. As argamassas produzidas apresentam a capacidade de degradar moléculas de compostos poluentes, tais como óxidos de nitrogênio, promovendo uma diminuição na concentração desses gases presentes no ambiente. Além disso, a capacidade de degradação de moléculas aderidas em sua superfície confere a essas argamassas a possibilidade de realizar autolimpeza (CASAGRANDE, 2012).

Entretanto, essa tecnologia esbarra no elevado custo do dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>). Assim sendo, como alternativa, o minério não reagido (MNR), resíduo gerado na produção de TiO<sub>2</sub>, destaca-se por possuir em sua composição grande quantidade desse óxido e não estar inserido, até o momento, em uma proposta de reuso ou reciclagem de forma efetiva, no sentido de agregar valor ao Ciclo de Vida do TiO<sub>2</sub>.

Portanto, este trabalho tem o potencial de prestar valorosa contribuição científica no sentido de caracterizar um resíduo pouco conhecido e pouco estudado em uma aplicação com elevado valor agregado para a construção civil, além de contribuir para a purificação do ar atmosférico, por meio da produção de argamassas de revestimento fotocatalíticas e autolimpantes que degradam os óxidos de nitrogênio (NOx) e os compostos orgânicos aderidos à superfície, reduzindo, assim, os impactos da construção civil no meio ambiente, bem como os impactos ambientais causados pela poluição do ar atmosférico.

O benefício ambiental com o reaproveitamento do resíduo MNR na produção de argamassas de revestimento fotocatalíticas se torna ainda maior, visto que as argamassas de revestimento se tornarão um repositório útil, oferecendo ao resíduo, atualmente depositado em aterro industrial, uma destinação permanente e sustentável.

O presente trabalho está subdividido em uma breve revisão de literatura a respeito do tema, metodologia empregada, resultados e discussões e, por fim, as conclusões e referências.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. MINÉRIO NÃO REAGIDO

Entre os resíduos sólidos gerados no Brasil e como foco do presente projeto está o MNR, gerado na produção do dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), pela rota sulfato. O titânio é comumente encontrado na forma de óxidos por sua alta afinidade com o oxigênio, sendo o nono elemento mais abundante na crosta terrestre (MAIA, 2001). No campo industrial, o titânio é usado principalmente na forma metálica, de óxidos e cloretos. Os principais óxidos com interesse econômico são a ilmenita ( $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ), o anatásio ( $\text{TiO}_2$ ), o rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), o leucoxênio ( $\text{TiO}_2$ ) e a perovskita ( $\text{CaTiO}_3$ ) (FIGUEIREDO, 2008).

O dióxido de titânio é um dos materiais fotocatalíticos mais utilizados para desenvolver materiais e soluções inovadoras em diferentes áreas: purificação da água e ar, superfícies antibacterianas, auto-esterilizantes, cosméticos e materiais de construção, e é geralmente encontrado em três fases cristalinas (anatásio, rutilo e bruquita)

A indústria Tronox produz cerca de 60 mil toneladas de pigmento  $\text{TiO}_2$ , anualmente, desde 1971, no município de Camaçari/Bahia, a partir da etapa de sulfatação, na qual utiliza a mistura de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) com escória de titânio e ilmenita, que é um minério rico em titânio e ferro (FIGUEIREDO, 2008). A parcela de ilmenita que reage com o ácido sulfúrico é utilizada para a produção de  $\text{TiO}_2$ . O resíduo com alto teor de  $\text{TiO}_2$ , denominado minério não reagido, é gerado a partir da parcela não reagida da ilmenita e da escória de titânio. Essa parcela é neutralizada com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para, então, se obter o MNR. Atualmente, somente na Bahia, são geradas cerca de 30 mil toneladas do resíduo por ano, sendo este disposto em aterros sanitários.

Todavia, vale destacar que a produção do pigmento  $\text{TiO}_2$  pela rota sulfato acontece em diversos países ao longo de todos os continentes.

### 2.2. ÓXIDOS DE NITROGÊNIO ( $\text{NO}_x$ )

Os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) podem ser originados de fontes naturais, como processos biológicos, ou resultantes de atividades humanas, como indústrias de cal e fertilizantes, fornos industriais, motores de combustão e grandes queimadas. Eles são normalmente encontrados na atmosfera como monóxido de nitrogênio ou óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Esses gases podem provocar danos severos aos pulmões, tais como a enfisema pulmonar e a inflamação da mucosa nasal. Além dos danos à saúde, os óxidos nítricos podem gerar a chuva ácida e levar à formação do ozônio troposférico (MELO, 2011).

A chuva ácida ocorre por meio da deposição úmida de compostos ácidos presentes na atmosfera, os quais se dissolvem nas nuvens e nas gotas de água da chuva, formando uma solução com pH inferior a 5,6. Essa deposição ácida é causada principalmente pelas emissões de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  (MELO, 2011). Já o ozônio



(troposférico), segundo Negri (2002), é formado a partir dos NO<sub>x</sub> e hidrocarbonetos não reativos (não metanos) sob luz solar.

Visando melhorar a qualidade do ar, iniciaram-se buscas por alternativas que efetivamente reduzam as concentrações desses gases na atmosfera. Entre estas, destaca-se o uso de TiO<sub>2</sub>, como uma alternativa tecnológica para mitigar a poluição ambiental causada por NO<sub>x</sub>, por meio da fotodegradação desses gases. Segundo Trichês et al. (2010), isso se dá pela conversão fotoquímica do NO<sub>x</sub> em íons nitratos, a partir da oxidação fotocatalítica, utilizando dióxido de titânio como fotocatalisador.

## 2.3. FOTOCATÁLISE

### 2.3.1. Processos Oxidativos Avançados (POA)

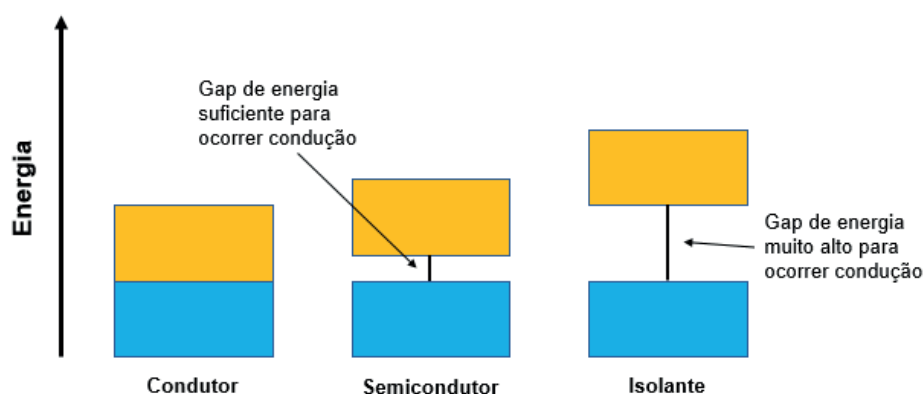
Os processos oxidativos avançados (POA) são caracterizados pela capacidade de gerar radicais hidroxilas (OH<sup>-</sup>) em quantidades suficientes para degradar compostos poluentes. Esses processos podem ser homogêneos ou heterogêneos e utilizar, ou não, a radiação ultravioleta (UV). Nos processos homogêneos, a reação fotoquímica ocorre numa fase única e utiliza como reagentes oxidantes o ozônio e o peróxido de hidrogênio, isolados ou combinados, ou, ainda, o reagente de fenton (solução de peróxido de hidrogênio e um catalisador de ferro) como geradores de radicais, com ou sem radiação UV (HIGARASHI et al., 2000). A geração dos radicais promove com eficiência os POA sobretudo devido à alta instabilidade e poder das hidroxilas, quanto mais radicais forem gerados, maior será o poder oxidativo (HIGARASHI et al., 2000). O processo oxidativo avançado heterogêneo será discutido no tópico subsequente.

### 2.3.2. Fotocatálise Heterogênea

Fujishima e Honda descobriram a fotocatalise heterogênea em 1972, quando realizavam ensaios de fotoxidação da água em eletrodos de TiO<sub>2</sub>. Esse processo vem apresentando resultados promissores no que diz respeito à remoção de poluentes tóxicos e não biodegradáveis (MELO, 2011). Foi observado que, quando expostas à radiação UV-A, partículas do semicondutor TiO<sub>2</sub> podem absorver energia suficiente para migrar elétrons da banda de valência para a banda de condução. Os semicondutores caracterizam-se por possuírem uma camada de valência incompleta e uma camada condutora separada por uma pequena "band gap". Nos condutores, essa "band gap" é inexistente, enquanto que nos isolantes ela é muito grande (Figura 1) (MELO, 2011).

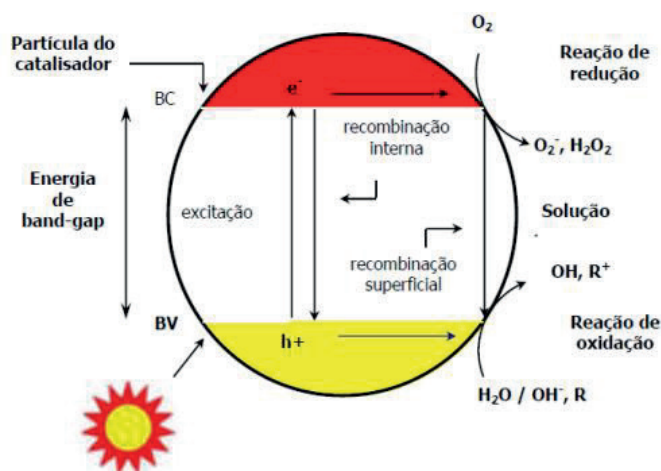
Para que essa migração aconteça é necessário que a energia de fótons absorvida pelo semicondutor seja maior que a energia de "band gap", que representa a diferença de energia entre as bandas de valência e de condução do material (HANAOR, 2011), conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 1 - Níveis energéticos dos materiais (MELO, 2011)



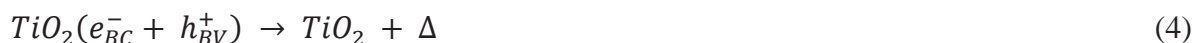
A migração de elétrons forma pares elétron-lacuna com potencial suficientemente positivo para formar radicais hidroxila ativados a partir das moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor (Figura 2).

Figura 2 – Processo de fotocatalise em partícula de semicondutor (MELO, 2011)



Em virtude de seu alto potencial oxidante, os radicais hidroxila conseguem se ligar a compostos orgânicos (alcanos, alquenos, álcoois e pesticidas) e inorgânicos, tais como óxidos de nitrogênio e carbono, degradando-os e formando novos compostos termodinamicamente mais estáveis (BEELDENS, 2006). Essa transformação é apresentada pelas Equações 1 a 4. Esse fenômeno, anteriormente apresentado como POA heterogêneo, baseia-se na geração de radicais hidroxila em quantidades suficientes para a degradação de poluentes (MELO, 2011).

As Equações 1 a 4 representam o processo de absorção de energia pelo semicondutor (dióxido de titânio), formando o par elétron-lacuna (Equação 1). A seguir, ocorre a formação do radical hidroxila (Equações 2 e 3), a partir da água adsorvida e, posteriormente, ocorre a retirada do elétron da superfície do semicondutor e a recombinação do par elétron-lacuna, o qual resulta na liberação do calor, conforme a Equação 4 (ROMERO et al., 1999). Nesse processo, por não haver consumo de dióxido de titânio, as superfícies apresentam um grau elevado de durabilidade (FUJISHIMA; RAO; TRYK, 2000).



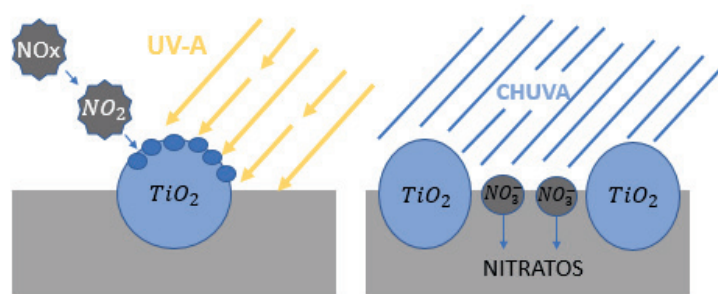
A degradação dos gases NOx, processo conhecido como desnitrogenização, oferece um modelo adequado para avaliar a capacidade de as superfícies purificarem o ar. Essa desnitrogenização pode ser descrita como uma reação em duas etapas (Equações 5 e 6), que ocorrem na superfície do fotocatalisador.



Os radicais hidroxila livres se originam na superfície das argamassas na presença de umidade, ocorrendo a eletrólise da água combinada. Como mencionado anteriormente, essas hidroxilas agem como um oxidante forte e oxidam o NO para NO<sub>2</sub> na primeira etapa (Equação 5). O NO<sub>2</sub> formado é um precursor-chave para uma reação adicional e é oxidado para íons nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), que podem se ligar aos álcalis dissolvidos na solução dos poros ou, muito provavelmente, podem ser lavados da superfície da argamassa (Figura 3). Ademais, a lavagem dos nitratos para o solo é benéfica, uma vez que esses compostos são conhecidamente responsáveis pelo aumento de sua fertilidade.

Além disso, o processo de autolimpeza na argamassa ocorre da mesma forma, havendo apenas a mudança no composto degradado, que, no lugar dos gases NO<sub>x</sub>, passam a ser compostos orgânicos, como os fungos, por exemplo, que podem causar um aspecto visual desagradável nas fachadas dos edifícios.

**Figura 3 - Degradação dos gases NO<sub>x</sub> em superfície fotocatalítica**



Segundo Melo e Trichês (2012), os principais fatores que influenciam na eficiência da fotocatalise são: combinação dos pares elétron-lacuna, concentração e tamanho dos agregados, características do semicondutor, umidade relativa, intensidade da radiação e fluxo do poluente.

O uso dessa tecnologia na produção de fachadas com argamassas autolimpantes com capacidade de degradar poluentes em regiões industrializadas é uma possibilidade factível e extremamente interessante no contexto da preocupação ambiental que se vive atualmente nas grandes cidades. A redução da concentração de óxidos de enxofre e nitrogênio, por exemplo, pode contribuir de maneira significativa na qualidade ambiental de regiões próximas a indústrias, visto que tais óxidos favorecem a ocorrência de chuva ácida, fenômeno que acarreta graves problemas a solos, vegetações, edifícios, monumentos e à saúde humana (CASAGRANDE, 2012).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para realização desta pesquisa foram: água de amassamento, cimento Portland branco, cal hidratada, minério não reagido (MNR), areia, resazurina, glicerol, hidroxietilcelulose e surfactante de polissorbato 20.

As argamassas de revestimento foram confeccionadas com traço de 1 : 1 : 5 : 1,3 (cimento Portland branco: cal hidratada: areia: água), definido por meio do Método de Selmo (1989) (CARASEK, 2007), com adições de 5%, 10% e 15% de MNR, em relação à massa do cimento.

Cabe destacar que as argamassas foram caracterizadas quanto aos seus aspectos de resistência mecânica, permeabilidade, absorção de água e reologia, apresentando resultados satisfatórios quanto às exigências normativas. Entretanto, devido à extensão dos resultados, os mesmos foram suprimidos.

As argamassas foram caracterizadas quanto à capacidade fotocatalítica por meio de avaliação da degradação de composto orgânico (resazurina) aderido à superfície das argamassas e da decomposição de gases poluentes (NO<sub>x</sub>).

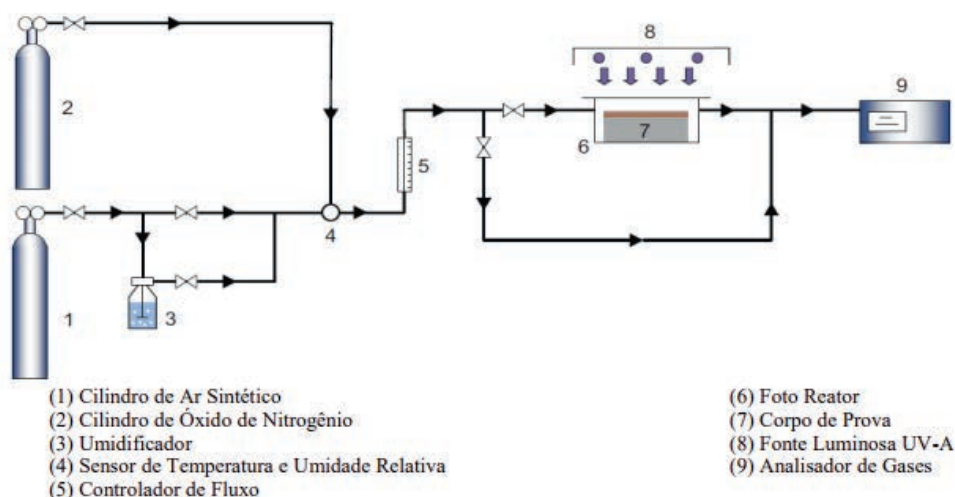
A tinta indicadora de resazurina, conforme procedimento utilizado por Mills et al. (2013), é composta por 10 g de uma solução aquosa contendo 1,5% m de hidroxietilcelulose (HEC), 1 g de glicerol, 10 mg de corante de Resazurina (Rz) (75%, sal de sódio) e 10 mg de surfactante de Polissorbato 20. As amostras de argamassa de revestimento contendo 5%, 10% e 15% de MNR, além da argamassa de referência, foram moldadas de acordo com o procedimento descrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005), em fôrmas prismáticas de 5x5x3 cm<sup>3</sup>.

Posteriormente, as amostras foram limpas levemente com um pano em toda superfície e, então, expostas à tinta indicadora de resazurina usando-se um conta-gotas. Finalmente, essas amostras foram colocadas no aparato de fotocatalise para serem submetidas à radiação UV-A artificial. Durante 15 minutos, as amostras foram submetidas à radiação UV-A artificial, e a variação da cor na superfície das amostras foi monitorada.

Por fim, foi utilizado o Colorímetro Colorium 2 e o software Lab7 (ambos da fabricante Delta Color) para analisar e quantificar a variação de cor da solução de Resazurina na superfície das amostras de argamassas, de modo a verificar a ocorrência e a capacidade fotocatalítica dessas amostras.

Para quantificar e se obterem valores confiáveis de degradação dos compostos poluentes das argamassas fotocatalíticas com condições experimentais semelhantes aos parâmetros atmosféricos, foi desenvolvido um aparato de fotocatalise de alta precisão, baseado no modelo construído por Husken; Hunger; Brouwers (2009), conforme Figura 4.

**Figura 4 - Modelo usado para construção do aparato, utilizado para realização dos ensaios de degradação dos gases de NO<sub>x</sub> (Husken; Hunger; Brouwers, 2009)**





O ensaio de degradação dos óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>) foi realizado com 12 peças moldadas de cada teor de MNR, totalizando uma área efetiva de 300 cm<sup>2</sup> (12 x 25 cm<sup>2</sup>). O ensaio foi feito conforme esquema realizado por Melo e Trichês (2012), descrito a seguir.

Inicialmente foi realizada a calibração do sistema para as condições de ensaio desejadas, em termos de concentração inicial de poluente (ppmv) e da taxa de fluxo (l/min). Essas condições foram ajustadas da seguinte forma:

1) Radiação UV-A (W/m<sup>2</sup>): a radiação UV-A utilizada foi proveniente das quatro lâmpadas de 30 W, com uma potência de cerca de  $10,0 \pm 2$  W/m<sup>2</sup>.

2) Taxa de Fluxo (l/min): após definida a radiação UV-A, calibrou-se a taxa de fluxo (vazão). Com um regulador posicionado antes da célula do fotoreator, foi fixado o fluxo desejado, em l/min.

3) Concentração de NO<sub>x</sub> (ppmv): definida a taxa de fluxo, foi realizada a calibração da concentração de poluente (NO<sub>x</sub>), que é estabelecida da seguinte maneira: com o analisador de gases disposto no final da tubulação, é verificada a concentração do poluente em tempo real. Dessa forma, foi dosada a quantidade de ar sintético e óxido nítrico (NO) necessária para se obter a concentração de poluente desejada, em ppmv.

Após os ajustes dos parâmetros, o ensaio foi iniciado e consistiu na exposição das argamassas de revestimento a um ambiente poluído no interior da célula do fotoreator, por 40 minutos. Os 40 minutos de ensaio são caracterizados por três estágios conforme procedimento utilizado por Melo e Trichês (2012).

- 1º Estágio: o primeiro estágio tem duração de 5 minutos, quando não há incidência de radiação UV-A, ou seja, as lâmpadas estão desligadas. O objetivo dessa fase é comprovar que não ocorre a degradação do NO<sub>x</sub> sem radiação UV-A.

- 2º Estágio: este estágio tem uma duração de 25 minutos, com incidência de radiação UV-A (lâmpadas ligadas). O tempo de duração dessa fase foi definido com base em ensaios testes, pelos quais se verificou que o tempo necessário para os corpos de prova atingirem sua eficiência máxima era cerca de 20 minutos.

- 3º Estágio: neste último estágio, a radiação UV-A é desligada por 10 minutos, ou seja, até o fim dos 40 minutos. Esses últimos 10 minutos sem radiação foram definidos com base em testes, que constataram a necessidade de cerca de 10 minutos para que fossem cessadas todas as reações de fotocatalise heterogênea nos corpos de prova.

Durante a realização do ensaio, a concentração de NO<sub>x</sub> foi monitorada a cada segundo. Após o teste, os dados foram armazenados em um banco de dados no computador. As condições de ensaio utilizadas foram as mesmas adotadas por Melo e Trichês (2012), que as definiram estatisticamente, com base nos dados climáticos do Estado de São Paulo, onde a poluição atmosférica se assemelha à de Salvador (ICLEI 2016). Condições de ensaio utilizadas: Taxa de fluxo Q: 1,0 litro/min; Radiação UV-A:  $10,0 \pm 2$  W/m<sup>2</sup>; Umidade relativa:  $50 \pm 5$  %; Tempo de Ensaio: 40 minutos; e Concentração do poluente (NO<sub>x</sub>): 20 ppm.

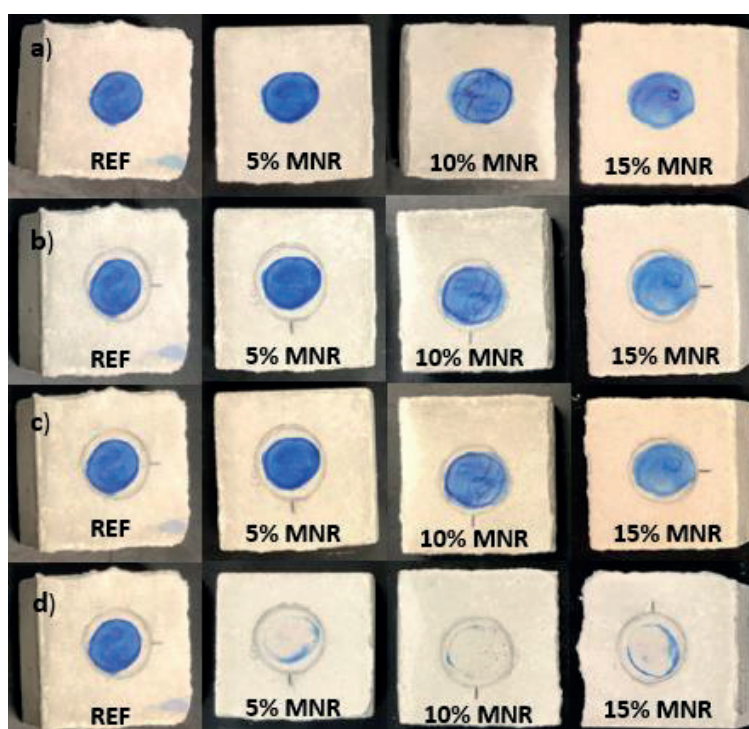
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO ADERIDO À SUPERFÍCIE DAS ARGAMASSAS

O teste de avaliação da capacidade fotocatalítica com base na avaliação de degradação da tinta indicadora de resazurina é um teste rápido, semiquantitativo e barato, que usa um colorímetro digital simples e uma tinta indicadora, adequada para uso no laboratório ou no campo. Esse teste permite verificar a capacidade fotocatalítica autolimpante de materiais comerciais tais como vidro e azulejos, sendo mais eficiente e mais rápido do que muitos outros testes ISO utilizados (MILLS et al., 2013).

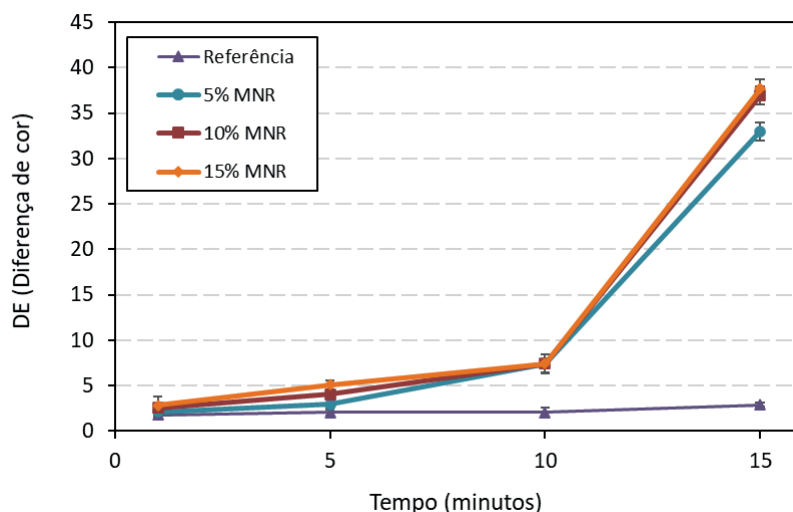
A Figura 5 apresenta a evolução da degradação da tinta indicadora de resazurina sobre a superfície das argamassas contendo MNR, em diversos teores, durante 1, 5, 10 e 15 minutos sob influência da radiação UV-A artificial. Pode-se perceber que as argamassas contendo MNR degradaram a tinta indicadora de resazurina após 10 minutos, resultado bastante superior ao observado na argamassa de referência (sem MNR).

Figura 5 - Degradação da tinta indicadora de resazurina em argamassas de revestimento com adição de diversos teores de MNR, submetidas à radiação UV-A artificial durante o período de (a) 1, (b) 5, (c) 10 e (d) 15 min



Na quantificação da degradação da resazurina, por meio de método colorimétrico, pode-se observar na Figura 6 que a degradação da tinta na argamassa de referência não foi significativa. No entanto, as diferenças de cor (DE) observadas nas manchas de resazurina para as argamassas contendo 5%, 10% e 15% de MNR, após 15 minutos de exposição à radiação UV-A artificial, resultaram em uma degradação acentuada da tinta indicadora, comprovando, assim, o fenômeno de fotocatalise promovido pelo semicondutor  $TiO_2$  presente no MNR. Dessa maneira, comprova-se que, com a utilização de apenas 5% de MNR, é possível produzir uma argamassa autolimpante, com capacidade de eliminar sujidades, fungos e algas que possam vir a se desenvolver na superfície dos edifícios.

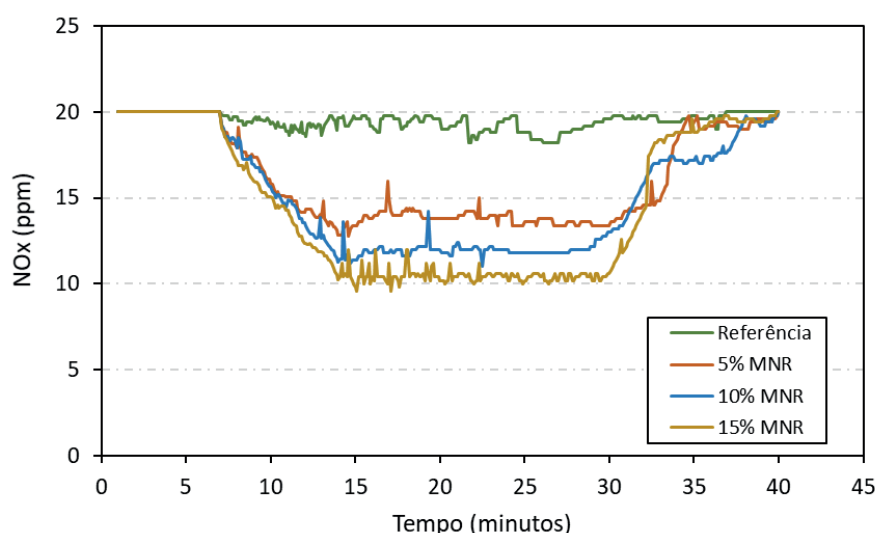
Figura 6 - Diferença de cor (DE) das argamassas de referência e com adições de 5%, 10% e 15% de MNR, decorrente da fotocatalise durante o período de 1, 5, 10 e 15 minutos, com base na Escala CIE



#### 4.2. AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS GASES NO<sub>x</sub>

Inicialmente avaliou-se a capacidade das argamassas de referência, sem adição de MNR, degradarem os gases NO<sub>x</sub>. Observa-se na Figura 7 que praticamente não houve alteração na concentração dos NO<sub>x</sub>, ao longo das três fases de ensaio, permanecendo em torno de 20 ppm. Esse comportamento mostra que a argamassa de referência, sem MNR, por não possuir o semicondutor TiO<sub>2</sub>, não produz os radicais hidroxila suficientes para degradação dos NO<sub>x</sub>.

Figura 7 - Degradação dos gases NO<sub>x</sub> na superfície das argamassas de referência e com adições de 5%, 10% e 15% de MNR, quando submetidas à radiação UV-A artificial no aparato de fotocatalise



A Figura 7 apresenta, ainda, os resultados do ensaio de degradação dos gases NO<sub>x</sub> para as argamassas com adições de 5%, 10% e 15% de MNR. Para essas argamassas, ficam evidenciadas as características bem distintas dos três estágios que compõem o procedimento de ensaio.

Além disso, observa-se um aumento no nível de degradação dos gases NO<sub>x</sub> à medida que se aumenta a concentração de MNR nas argamassas, sendo cerca de 30% para argamassas com 5% de MNR; 40% para argamassas com 10% de MNR e 50% para argamassas com 15% de MNR, com uma redução

na concentração de 20 ppm para cerca de 10 ppm de NO<sub>x</sub>, evidenciando que essas argamassas degradaram o restante.

Com isso, a utilização de 15% de MNR em uma argamassa aplicada em uma área de aproximadamente 300 cm<sup>2</sup> é capaz de remover 50% da poluição atmosférica oriunda dos gases NO<sub>x</sub>. Esse resultado na prática pode ser ainda melhor, ao se considerar a utilização desse tipo de argamassa em todas as fachadas dos imóveis, além da possibilidade de aplicação em calçadas, pavers etc. A partir desses resultados, estima-se que, se cerca de 75% das fachadas de uma cidade como Salvador utilizassem essa argamassa, a poluição por gases NO<sub>x</sub> seria insignificante.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que o minério não reagido pode ser incorporado a matrizes cimentícias, apresentando resultados satisfatórios dentro dos requisitos normativos impostos para as argamassas de revestimento.

A degradação dos gases NO<sub>x</sub> foi bastante satisfatória para argamassas contendo MNR, atingindo uma taxa de conversão de cerca de 50% para argamassas contendo 15% de MNR. Com isso, se forem aplicadas argamassas de revestimento contendo MNR nas fachadas dos edifícios das grandes cidades, espera-se uma considerável melhoria na qualidade do ar, prevenindo doenças e melhorando a qualidade de vida da população.

A utilização de apenas 5% de MNR promoveu a capacidade de autolimpeza da argamassa, podendo eliminar sujidades, fungos e algas que possam vir a se desenvolver na superfície de imóveis.

Por fim, destaca-se que a aplicabilidade do estudo é simples, sendo necessário somente adquirir o resíduo MNR, que passará a ser um produto, moê-lo, secá-lo e efetuar a dosagem da argamassa de revestimento contendo esse material.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT - NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

BEELDENS. A. Environmental friendly concrete pavement blocks: Air purification in the centre of antwerp. 2006. **8th International Conference on Concrete Block Paving**, California. 2006.

CASAGRANDE. C, A; JOCHEM. L, F.; REPETTE. W, L.; HOTZA. D. Estudo da utilização da titânia em argamassas cimentícias como fotocatalisador de óxidos de nitrogênio. **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Minas Gerais. 2012.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Pini, v. 2, 2007.

CHEN, H. POON, C. **Photocatalytic cement-based materials**: Comparison of nitrogen oxides and



toluene removal potentials and evaluation of self-cleaning performance. *Build. Environ.*, 46: 1827-1833, 2011.

FIGUEIREDO, S, C. **Estudo exploratório de incorporação da Lama de Filtros Rotativos à Vácuo (LFRV), gerada na Millennium Inorganic Chemicals, em uma matriz Cerâmica Vermelha.** 2008. 164 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Limpas no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

FUJISHIMA, A.; RAO, T, N.; TRYK, D, A.; Titanium dioxide photocatalysis. **Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry Reviews.** v. 1, p. 1-21, 2000.

HANAOR, D. A. H; SORREL, C. C. Review of the anatase to rutile phase transformation. **Journal of Materials Science.** V.46, p. 855-874, 2011.

HIGARASHI, M. M.; MOREIRA, J. C.; OLIVEIRA, A. S.; FERREIRA, L. F. V. A Utilização de Processos Oxidativos Avançados na Descontaminação do Meio Ambiente. **Química - Boletim SPQ 79**, 16-20. Lisboa, 2000.

HUSKEN, G.; HUNGER, M.; BROUWERS, H, J, H. **Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification.** *J. Build. Environ.* v. 44, p. 2463-2474, 2009.

MELO, J. V. S. de. **Desenvolvimento de peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e purificação do ar** [dissertação]: João Victor Staub de Melo; orientador, Glicério Trichês - Florianópolis, SC 2011. 208 p.

MELO, J. V. S.; TRICHÊS, G. T. **Evaluation of the influence of environmental conditions on the efficiency of photocatalytic coatings in the degradation of nitrogen oxides (NOx).** *J. Build. Environ.* v. 49, p. 117-123, 2012.

MILLS A., HEPBURN J., HAZAFY D, O'ROURKE C., KRYSA J., BAUDYS M., ZLAMAL M., BARTKOVA H., HILL C., WINN K., SIMONSEN M., SOGAARD E., PILLAI S., LEYLAND N. A Simple Inexpensive Method for the Rapid Testing of the Photocatalytic Activity of Self Cleaning Surfaces. **J. Photochemistry Photobiology A: Chemistry.** Vol. 272, 15 November 2013, Pages 18-20.

POON, C, S.; CHEUNG, E. NO removal efficiency of photocatalytic paving blocks prepared with recycled materials. **Construction and Building Materials.** v. 21, p. 1746-1753, 2007.

ROMERO, M.; BLANCO, J.; SÁNCHEZ, B.; VIDAL, A.; MALATO, S.; CARDONA, A. I.; GARCIA, E. Solar Photocatalytic Degradation of Water and Air Pollutants: Challenges and Perspectives. **Solar Energy** 66, NO2, 169-182. Madrid, Spain, 1999.

TRICHÊS, G., MELO, J. V. S., GLEIZE, P. J. P., VILLENA, J. Peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e degradação de óxidos de nitrogênio (NOx) presentes na atmosfera. **40ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, RJ – 26 a 28 de outubro de 2010.

# BUILDING ANALYTICS: BUSINESS INTELLIGENCE PARA GERENCIAMENTO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA

*Aluno:* Vitor Laranjeira Caldini  
*Orientadora:* Elaine Pinto Varela Alberte

## RESUMO

Um grande problema enfrentado pelas construtoras e incorporadoras do setor imobiliário é a dificuldade de controle e gestão dos processos em etapa posterior à entrega da obra. Por outro lado, os departamentos de assistência técnica e gestão pós-obra possuem grande potencial de suporte à aplicação do ciclo PDCA - Plan-Do-Check-Act - pois são os setores responsáveis pelo tratamento de não conformidades durante a construção e uso da edificação. A grande quantidade de dados que pode ser coletada no procedimento de Assistência Técnica, aplicada a metodologias e ferramentas adequadas, pode produzir informações valiosas para a tomada de decisões estratégicas e de alto impacto na eficiência operacional da organização. Este artigo apresenta uma proposta de plataforma para tratamento e gerenciamento dos dados produzidos na etapa pós-obra desenvolvida a partir de teorias e softwares de Business Intelligence, permitindo à construtora analisar sua eficácia de forma ágil e em tempo real, gerando conhecimento para otimização de diferentes áreas da empresa como produção, manutenção e suprimentos. A estrutura da proposta foi desenvolvida considerando os processos de gestão pós-obra e assistência técnica, identificados na literatura. A aplicabilidade da plataforma foi analisada por simulação, utilizando dados artificiais. Os resultados obtidos permitiram identificar o potencial e qualidade das informações de gerenciamento fornecidas pela ferramenta.

**Palavras-chave:** Construção. Inovação. Assistência Técnica. Business Intelligence.

## 1. INTRODUÇÃO

Os setores de Assistência Técnica Pós-Obra geram grande quantidade de informação durante o gerenciamento dos seus procedimentos. Insumos valiosos que podem ser convertidos em conhecimento organizacional e na garantia da satisfação dos clientes (ALVES, 2019).

Por um lado, a administração das garantias contratuais após a entrega do empreendimento é um desafio que merece atenção e gerenciamento eficaz, uma vez que a expectativa do cliente em relação à qualidade da unidade recebida é alta e falhas ocorridas podem comprometer de forma irreparável a sua satisfação (AL-MOMANI, 2000). Por outra parte, uma gestão de reclamações adequada proporciona a identificação de erros sistêmicos para retroalimentação do processo construtivo (ANG & BUTTLE, 2006; BRITO, 2009) e demais processos de suporte, como aquisições e projetos.

A geração de dados com potencial a ser convertido em conhecimento organizacional acontece, de forma expressiva, no pós-obra (FANTINATTI, 2008). Entretanto, tal potencial ainda é subaproveitado

pelo setor, que carece de metodologias e ferramentas para o controle eficiente das etapas posteriores à entrega da obra e para a análise dos seus resultados (ALVES, 2019), especialmente se estudados por empresas especializadas subempreitadas, como proposto por Ramos e Mitidieri (2007).

Existem, conforme sugerido por Brito (2009) e Cupertino (2015), métodos de coleta de dados, tratamento e análise de indicadores de Assistência Técnica a partir do preenchimento de formulários e análises gráficas. Ambos com o auxílio de softwares de planilhas eletrônicas e tratamento de dados por metodologias de gestão da qualidade, como gráficos de Pareto. Contudo, tais métodos estão limitados aos dados contidos nos arquivos operados e não contemplam as relações deles com dados provenientes de outros setores da empresa.

Em contrapartida, observa-se que a indústria da Construção Civil vem sendo exposta a diferentes inovações tecnológicas e também gerenciais em diferentes âmbitos, a exemplo do BIM (Building Information Modeling), drones, gestão em tempo real e sistemas integrados por IoT (Internet of Things). E, nesse sentido, o desenvolvimento da Indústria 4.0 trouxe novos conceitos e práticas como o Big Data, Cloud Computing e a operação em tempo real, que, alinhados com as metodologias de gestão e ferramentas inovadoras de Business Intelligence (BI), podem proporcionar novos horizontes de informações e conhecimentos a serem incorporados na dinâmica empresarial.

Focado em dar suporte à tomada de decisão, os sistemas de Business Intelligence se destacam por permitir o tratamento de um grande volume de dados armazenados em diferentes repositórios virtuais, os Data Marts. Ou seja, possibilita o tratamento facilitado do Big Data – informações extraídas de diferentes etapas do processo ou até mesmo extraídas de diferentes processos da organização – de forma imediata, armazenada na nuvem e disponível em tempo real.

Este artigo apresenta uma proposta de implementação do Business Intelligence para coleta e tratamento de dados pós-obra. Por meio da utilização do software Power BI, propõe uma plataforma on-line com painéis modelo “Dashboard”, cujos dados de entrada podem ser inseridos a partir do uso de diferentes formatos. Denominada de Building Analytics, a plataforma possibilita a criação e análise eficiente de indicadores de desempenho relacionados ao gerenciamento do processo de Assistência Técnica, dando suporte à tomada de decisões estratégicas para a melhoria contínua da organização e seu processo construtivo.

Um protótipo da plataforma foi elaborado a partir de informações disponíveis na literatura, considerando o contexto típico dos processos de gestão pós-obra e assistência técnica de empresas tipo da região. Sua relevância e aplicabilidade foram avaliadas por simulação, pelo qual foram observadas a capacidade da ferramenta em produzir conhecimento relevante e impactar a qualidade do processo frente ao panorama atual.

## **2. ASSISTÊNCIA TÉCNICA: PANORAMA ATUAL E USO DE BUSSINESS INTELLIGENCE**

Os setores de gerenciamento pós-obra exercem atividade imprescindível na dinâmica organizacional de construtoras e incorporadoras, uma vez que suas atividades são cumprimento de dispositivos jurídicos concernentes a pessoas, bens e suas relações.

Não obstante, mesmo diante da importância exposta, o cenário atual apresenta relevante deficiência na etapa de gerenciamento pós-obra. Em uma pesquisa realizada com empresas da grande Recife, de médio e grande porte e com certificações PBQP-H Nivel A, Alves (2019) identifica que 20% das empresas analisadas não possuem um setor exclusivo para o pós-obra ou, quando existe, é comum os colaboradores não possuírem a formação adequada ou não ter dedicação exclusiva ao setor. Além disso, como agravante, Alves (2019) indica que apenas 25% das empresas que possuem setor de gestão pós-obra tratam os dados gerados no processo e que essa análise se limita principalmente a quantidade de chamados, tempo de atendimento e custo dos serviços. Nenhuma das empresas acompanha a recorrência ou o nexo causal dos defeitos. A Tabela 1 traz um panorama das características avaliadas pelos indicadores das empresas estudadas pelo autor.

Cupertino (2015) endossa a importância do adequado tratamento das informações extraídas no período após entrega da obra. Ao apresentar análise sobre dados de assistência técnica, o autor observa que cerca de 80% das 1.124 solicitações avaliadas como procedentes eram relativas a apenas quatro serviços, enquanto 44% eram relacionadas à fase de execução. Além de demonstrar parte do potencial de análise dos dados obtidos nessa etapa, Cupertino (2015) conclui que ainda são poucos trabalhos que abordam a Assistência Técnica como ferramenta de gestão voltada à melhoria dos processos e produtos na Construção Civil.

**Tabela 1. Características avaliadas pelos indicadores de cada construtora**

Características Avaliadas	Construtora										Empresas que utilizam o indicador (%)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
Custo de pós-obra	X	X				X	X			X	50%
Duração do atendimento			X		X	X		X	X		50%
Satisfação do cliente pós atendimento							X	X	X	X	40%
Manifestações patológicas identificadas na entrega					X						20%
Quant. de solicitações					X						10%
Quant. de manifestações identificadas no reparo						X					10%
Não possui indicadores				X							10%

Fonte: Alves, 2019.

Turban (2009) sugere um modelo operacional em que, uma vez identificadas tais pressões e oportunidades para reação da organização, as decisões sejam tomadas com o uso de um suporte computadorizado integrado e alinhado ao conceito de Business Intelligence (BI). Segundo o autor, o BI é uma teoria que permite a utilização de sistemas de apoio a decisão (DSS), aliado a sistemas integrados (ERP), bancos de dados (data warehouse e data marts), metodologias, análises de desempenho e big data.

Kadoli (2014), ao sugerir a implementação de BI para empresas de construção, em especial no setor de relacionamento com o cliente, salienta que a utilização de sistemas integrados (ERP) pode ser um valioso aliado da estratégia de BI ao sistematizar o dia a dia. Destaca, contudo, que seu uso não é fator limitante. Assim, constata-se a adaptabilidade dos conceitos de BI a diversas dinâmicas



empresariais, processos e ferramentas, podendo contar ou não com tecnologias complementares.

### 3. METODOLOGIA

Seguindo a metodologia de pesquisa DSR (Design Science Research), o presente estudo propõe e avalia a relevância e aplicabilidade de uma plataforma on-line para gerenciamento de Assistência Técnica com o uso de BI. Denominado neste trabalho de Building Analytics, o artefato proposto foi desenvolvido em três macroetapas, considerando os passos de concepção e sugestão (Etapa 1), desenvolvimento (Etapa 2) e avaliação e conclusão (Etapa 3) propostos pela metodologia DSR.

Na primeira etapa, foi realizada uma revisão bibliográfica para identificação de processos, informações e oportunidades de melhoria da fase pós-obra e de assistência técnica. Assim, buscou-se definir e formalizar o problema a ser solucionado pela plataforma, por meio da identificação do panorama atual dos processos, dos dados passíveis de geração e do possível âmbito de influência da proposta.

Na segunda etapa, foi desenvolvido um protótipo da plataforma por meio do software Power BI. O software foi escolhido dentre as ferramentas de BI disponíveis por possibilitar a criação de painéis de controle e relatórios on-line com gráficos visuais e interativos, gerados a partir da importação de dados em tempo real e acessível em desktops, tablets ou smartphones. O protótipo foi desenvolvido adotando-se as etapas de implementação de uma plataforma padrão, expondo os indicadores que constarão nos painéis e como acontece a extração desses dados, tomando como base um procedimento genérico de gerenciamento de Assistência Técnica sugerido por Resende, Melhado e Medeiros (2002) e Ramos e Mitidieri (2007).

Por fim, a Etapa 3 buscou avaliar a relevância e aplicabilidade da proposta por simulação com uso de dados artificiais, quando foram avaliados, de forma qualitativa e quantitativa, os seguintes aspectos da ferramenta:

- Produção de conhecimento organizacional: potencial do artefato para conversão de dados em informação e de informação em conhecimento a partir da retroalimentação dos processos, fluxo básico para a operação de ferramentas analíticas;

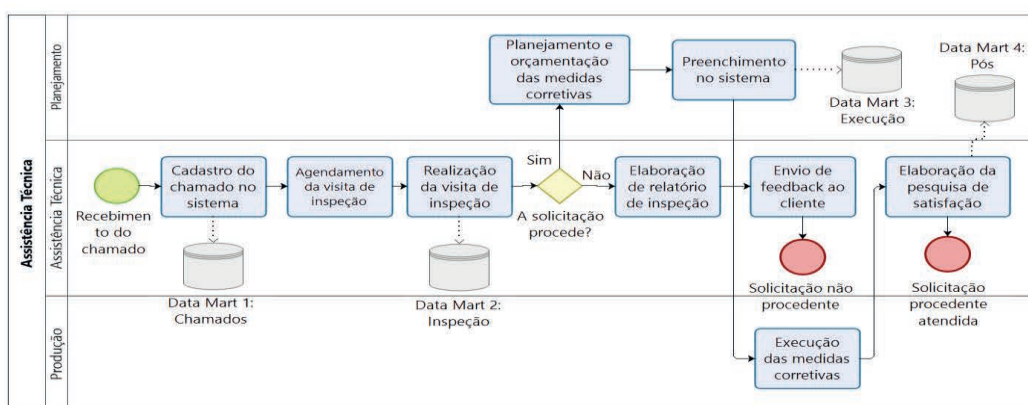
- Impacto frente ao contexto atual: quantidade e qualidade de indicadores obtidos pela plataforma em comparação ao contexto atual de gerenciamento realizado pelo setor, considerando uma empresa fictícia que avaliaria todas as seis características identificadas na literatura (Tabela 1).

### 4. BUILDING ANALYTICS: FERRAMENTA PROPOSTA

A plataforma Building Analytics compreende painéis e relatórios on-line para acompanhamento de indicadores de desempenho pós-obra, personalizados em função da empresa, ao passo que a alimentação dos dados de entrada acontece de forma versátil e altamente adaptável às ferramentas de registro de dados utilizadas na organização.

A importação de dados pelo software utilizado (Power BI) pode ser feita por meio de diferentes formatos de arquivo e layouts, como planilhas eletrônicas (formato .xlsx), relatórios SQL extraídos de sistemas (formato .csv) ou até mesmo em arquivos de texto (formato .txt). Assim, a plataforma tem a possibilidade de ser implementada mesmo em casos nos quais a organização não deseje alteração nos processos, limitando seu escopo de indicadores aos dados já usualmente coletados.

Para construção do protótipo desenvolvido, adota-se o procedimento de gerenciamento de Assistência Técnica apresentado na Figura 1, conforme sugerido por Ramos e Mitidieri (2007).



**Figura 1. Fluxograma para processo de assistência técnica considerado para protótipo**

A proposta permite a criação de relação entre dados obtidos de diferentes bancos de dados da mesma organização. Adota-se aqui o termo Data Warehouse, utilizado para representar um repositório central de dados históricos, composto por Data Marts, repositórios de assuntos ou departamentos específicos.

No Quadro 1, encontram-se os dados coletados nas etapas indicadas na Figura 1 e presentes nesses Data Marts. Ressalta-se que as ferramentas utilizadas para esta coleta e armazenamento de dados são flexíveis ao procedimento da empresa e podem ser de diferentes naturezas, como operação de um sistema integrado, preenchimento e armazenamento de planilhas eletrônicas, documentos de texto, entre outros.

No Quadro 2, são apresentados os dados de Data Marts auxiliares, utilizados para compor os indicadores na plataforma. O procedimento de cada setor, bem como suas etapas e ferramentas não foram considerados, pois não possuem influência direta no resultado proposto, uma vez que a escolha dos Data Marts auxiliares e seus dados é altamente ajustável de acordo com os indicadores que os gestores da organização julgam decisivos às tomadas de decisão.

Quadro 1. Dados provenientes dos Data Marts do processo

DM1: Chamado	DM 2: Inspeção	DM3: Execução	DM4: Pós
Número do chamado	Número do chamado	Número do chamado	Número do chamado
Data da abertura	Data da visita	Data de início	Data de finalização do serviço
Empreendimento	Responsável técnico	Prazo para término	Custo final
Nome do solicitante	Nexo causal	Custo estimado	Satisfação do cliente
Defeito	Relacionado a material (S/N)		
Sistema	Qual material causou o defeito		
Privativo ou coletivo	Má execução ou má gestão (S/N)		
	Procede (S/N)		

Quadro 2. Dados auxiliares provenientes dos Data Marts de outros setores

DM-AUX1: Incorporação	DM-AUX2: Projetos	DM-AUX3: Produção	DM-AUX4: Suprimentos
Empreendimento	Empreendimento	Empreendimento	Empreendimento
Endereço	Projeto (disciplina)	Equipes por sistema	Fornecedores de cada material
Data de lançamento	Projetista/Empresa		
Modelo de gestão	Quantidade de revisões		

Cabe destacar a necessidade de cumprimento de alguns requisitos para a implementação da plataforma e, a depender da dinâmica operacional da empresa, podem ser necessários ajustes na operação. A figura 2 apresenta um modelo de fluxograma para incorporação da ferramenta e suas adequações necessárias.

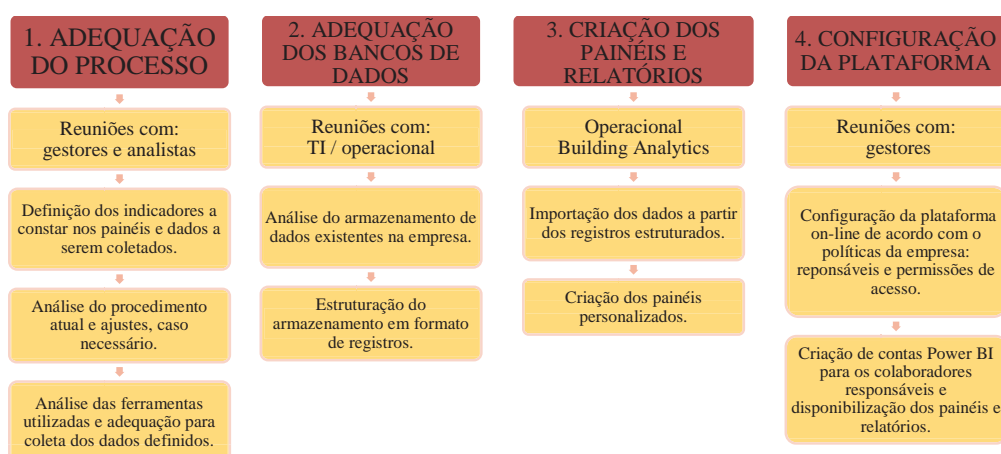


Figura 2. Etapas para implementação - Building Analytics

A implementação da plataforma, desde a análise de como é executado o procedimento pós-obra na empresa, acontece de acordo com a metodologia de integração ETL - Extract, Transform and Load - pelo qual os dados são extraídos de uma determinada fonte, convertidos em formatos que podem ser trabalhados em métricas de indicadores e carregados em um sistema a ser operado.

Por se tratar de um DSS (Sistema de Suporte à Decisão), a plataforma se propõe a criar indicadores de desempenho personalizáveis à realidade de cada empresa e de fornecer os dados que cada gestor deseja visualizar para balizar as decisões tomadas.

O Quadro 3 apresenta os indicadores formados com o tratamento de dados do mesmo Data Mart, vistas as sugestões contidas nos painéis padrão da plataforma, enquanto os quadros 4, 5 e 6 apresentam o resultado da relação entre os repositórios.

Somado a isso, observa-se que o Power BI permite a filtragem dos indicadores citados por parâmetros pré-estabelecidos pelo usuário, como filtragem por empreendimento, por modelo de gestão (síncrono, administradora, autogestão auxiliada, etc.), por sistema, entre outros. Portanto, as opções de indicadores disponíveis à análise tornam-se exponencialmente mais amplas do que o exposto nos quadros 3, 4, 5 e 6.

**Quadro 3. Indicadores gerados a partir da relação entre DMs do mesmo processo (AT)**

DM1 x DM2	DM1 x DM3	DM1 x DM4	DM2 x DM3	DM3 x DM4
Tempo médio entre chamado e visita	Tempo médio entre abertura de chamado e início da correção	Tempo médio entre abertura do chamado e término da correção	Prazo médio para correção por nexos causal	Variação média de prazo
Principais nexos causais por empreendimento	Custo médio de correção por empreendimento	Satisfação do cliente por empreendimento	Prazo médio para correção de defeitos relacionados só a materiais	Variação de prazo por defeito
Porcentagem de chamados relacionados a material por empreendimento	Custo total de correção por empreendimento	Satisfação do cliente por defeito	Prazo médio para correção de defeitos relacionados só a mão de obra	Variação média de custo
Porcentagem de chamados relacionados a mão de obra/gestão por empreendimento	Custo médio e total de correção por sistema	Satisfação do cliente por sistema	Prazo médio para correção de defeitos relacionados a materiais e mão de obra	Variação de custo por defeito
	Custo médio e total de correção por defeito		Custo médio e total para correção por nexos causal	
	Custo médio e total de correção por tipo de sistema (comum/privativo)		Custo médio e total para correção de defeitos relacionados só a materiais	
	Prazo médio de término das correções por sistema		Custo médio e total para correção de defeitos relacionados só a mão de obra	
	Prazo médio de término das correções defeito		Custo médio e total para correção de defeitos relacionados a materiais e mão de obra	
	Prazo médio de término das correções por tipo de sistema (comum/privativo)			



**Quadro 4. Indicadores gerados a partir do tratamento de dados isolados de cada DM**

<b>DM1: Chamado</b>	<b>DM2: Inspeção</b>	<b>DM3: Execução</b>	<b>DM4: Pós</b>
Chamados por tempo (ano/mês/dia)	Visitas por tempo (ano/mês/dia)	Início de atendimento por tempo (ano/mês/dia)	Finalização por tempo (ano/mês/dia)
Chamados por empreendimento	Tempo médio entre abertura do chamado e visita	Prazo médio para finalização das correções	Custo final médio
Chamados por defeito (patologias recorrentes)	Chamados por responsável técnico (alocação e demanda de colaboradores)	Custo estimado médio	Custo final total
Chamados por sistema (sistemas recorrentes)	Chamados pornexo causal (causa de defeitos)	Custo estimado mais alto	Satisfação do cliente
% de chamados/ sistema (áreas comuns ou áreas privativas)	% de chamados relacionados exclusivamente a materiais		Desvio entre custos efetivos e estimados
	% de chamados relacionados só a mão de obra/gestão		
	% de chamados relacionados a material e mão de obra/gestão		
	% de chamados procedentes e improcedentes (por defeito/ sistema/responsável etc.)		

**Quadro 5. Indicadores gerados a partir da relação entre DM1 da AT e DM auxiliares**

<b>DM1 x DM-AUX1</b>	<b>DM1 x DM-AUX2</b>	<b>DM1 x DM-AUX3</b>	<b>DM1 x DM-AUX4</b>
Chamados por localização (cidade/bairro)	Chamados por quantidade de revisão de projetos	Chamados por equipe	Chamados por material
Tipos de defeito por localização (cidade/bairro)		Defeitos por equipe	Chamados por fornecedor
Chamados por tempo (vida útil/ano/mes)			

**Quadro 6. Indicadores gerados relacionando demais DMs da AT e DMs auxiliares**

<b>DM2 x DM-AUX1</b>	<b>DM3 x DM-AUX1</b>	<b>DM4 x DM-AUX3</b>
Principais nexos causais por empreendimento	Média de custo estimado por empreendimento	Média de custo de AT por empreendimento
Principais nexos causais por localização (bairro)		Satisfação do cliente por empreendimento
Principais materiais causadores de defeitos em cada empreendimento		
Empreendimentos com mais defeitos relacionados à mão de obra		

Não obstante, para cada Data Mart inserido, a quantidade de indicadores multiplica. Como, por exemplo, a inserção de um Data Mart relacionado ao setor de recursos humanos dá a possibilidade da criação de uma grande quantidade de indicadores como: quantidade de ocorrências relacionadas à quantidade de treinamentos, proporcionalidade entre ocorrências relacionadas à mão de obra e treinamentos realizados ou até mesmo variação de prazo por equipe.

Portanto, devido a essa versatilidade, é imprescindível a primeira etapa da implementação, na qual acontece o alinhamento entre os indicadores que os gestores desejam utilizar e os Data Marts disponíveis, chegando assim às alterações necessárias aos procedimentos e suas ferramentas para fornecimento dos dados.

O protótipo desenvolvido possui 6 relatórios, sendo 4 painéis modelo “dashboard”, 1 lista e 1 painel de filtros. Os dashboards se dividem em: Resumo, Defeitos e Sistemas, Causas e Gerenciamento. Todos os painéis contam com filtros de empreendimento (no topo, em laranja), data (deslizável) e procedência (caixa de seleção). A Figura 3 apresenta a página inicial da ferramenta, aberta no painel Resumo.



Figura 3. Painel Resumo

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do uso do protótipo desenvolvido, foi possível obter 45 indicadores-base de diferentes fontes e a criação de mecanismos para combinação entre os indicadores-base e sistemas de filtragem interativa, dando autonomia ao analista em realizar seleções e obter novos indicadores a partir da combinação de parâmetros.

A interatividade dos gráficos e informações do painel são peça-chave para a apresentação de uma grande quantidade de informações com poucos recursos visuais. Ao selecionar um dado no painel, seja um setor de um gráfico, um número ou até mesmo uma informação, todos os outros itens são realçados em relação ao dado escolhido. Assim, amplia-se exponencialmente o rol de indicadores, possibilitando a criação de combinações entre todas as informações do relatório.

A interação também está presente nos gráficos de defeitos e sistemas. Ao selecionar a barra de um sistema em especial, como o de “instalações hidrossanitárias/louças e metais”, observa-se

rapidamente, pelo realce, quais os principais defeitos relacionados a esse sistema, bem como alterações do gráfico de chamados por tempo.

O terceiro painel – Causas – proporciona uma leitura rápida dos Nexos Causais e seus impactos. Os gráficos de setores indicam a porcentagem de chamados relacionados a material, mão de obra ou ambos, enquanto o gráfico de barras indica os principais nexos causais e a tabela os principais materiais que causaram as falhas. Vale ressaltar que todos os filtros apresentados são aplicáveis ao painel. Logo, se selecionado o filtro de um tipo de defeito, como “trincas e mossas”, por exemplo, o painel de causas é alterado e realçado para mostrar os nexos causais e demais informações apenas relacionadas aos chamados de trincas e mossas.

Tal seleção, apesar de simples e imediata, fornece uma filtragem para comparação rápida dos custos para reparo e do principalnexo causal de um tipo de defeito com a média geral. Tal diagnóstico não é facilmente aplicado em ferramentas convencionais de tratamento de dados e pode traduzir, por exemplo, em treinamentos mais assertivos ao corpo executivo da organização.

O painel de Gerenciamento tem como objetivo a eficiência operacional. Destacam-se os gráficos de velocímetro, os quais dispõem de metas configuráveis e plotadas no gráfico para leitura ágil.

A fim de cumprir o objetivo de melhorias na eficiência, os principais indicadores estão relacionados à alocação de recursos humanos (responsáveis pelas visitas), agilidade do processo e variações entre estimativas e reais, sejam de prazo ou custo. Todo o painel é filtrável por todos os parâmetros presentes no relatório.

Finalmente, o painel de filtros resume todos os parâmetros já vistos nas demais páginas, para filtragem rápida e alteração de todos os painéis de imediato, enquanto o painel de lista de chamados apresenta uma tabela com todos os chamados e dados dos 4 Data Marts do processo, os quais são 4 arquivos separados e unificados na plataforma, além de toda a tabela também ser filtrável pelos parâmetros do painel de filtros gerais.

O Quadro 7 apresenta uma análise dos dados de saída da plataforma para retroalimentação do PDP, segmentadas por setores. Ressalta-se que cada ação de retroalimentação listada é embasada por um ou mais indicadores listados na seção 4 e são variáveis, de acordo com a análise do gestor e grau de precisão buscado na leitura.

O quadro 8 apresenta novos indicadores formados pelo Building Analytics a partir do cruzamento dos dados-fonte dos indicadores identificados na literatura (Tabela 1) e tratados aqui como usuais dentro do panorama atual das empresas do setor.

Observa-se que, com o uso de dados já comumente coletados pelas empresas e sem nenhuma alteração na operação do processo, a Building Analytics conseguiu fornecer mais do que o dobro de indicadores que o cenário inicial. Nota-se também que os indicadores se apresentam mais refinados e mais próximos ao conhecimento, uma vez que se mostram mais contextualizados, com mais propósito e mais próximos da ação, segundo Davenport e Prusak (1998), ao diferenciarem conhecimento e informação.

**Quadro 7. Conhecimento organizacional passível de obtenção - Building Analytics**

SETORES	INDICADOR	CONHECIMENTO ORGANIZACIONAL ADQUIRIDO
Planejamento	Custo médio de correção	Base histórica para otimizar a precisão de orçamentos.
	Variação de prazo	Adequação do procedimento de planejamento frente às variações ocorridas.
	Variação de custo	Adequação do procedimento de orçamento frente às variações ocorridas.
Suprimentos	Nexos causais	Análise dos defeitos que tiveram materiais relacionados à causa para adequação do processo de aquisição e avaliação de fornecedores.
Produção	Principais defeitos	Análise dos principais defeitos para adequação do gerenciamento de obras.
	Nexos causais	Análise dos principais nexos causais para adequação do gerenciamento de obras.
Gestão de Pessoas	Quantidade de defeitos e visitas por tempo	Avaliação de épocas com maior demanda de correções para otimização do planejamento de contratações e desembolsos.
	Principais defeitos e nexos causais	Avaliação dos defeitos e nexos causais relacionados a falhas na mão de obra para adequação dos planos de treinamento a fim de reduzir deficiências operacionais.
	Quantidade de chamados por responsáveis	Otimização do planejamento e alocação de recursos humanos para maior agilidade no processo.
Projetos	Quantidade de chamados privativos e coletivos	Ao filtrar por sistema e análise dos nexos causais, pode-se otimizar cuidados de uso nos Manuais de Uso, Operação de Manutenção dos empreendimentos.
Qualidade	Principais defeitos e nexos causais	Avaliação dos principais defeitos e proposição de soluções alternativas às soluções de falhas recorrentes.
	Duração média das etapas	Avaliação do processo de Assistência Técnica como um todo e auditoria dos procedimentos para otimização assertiva de etapas-gargalo.
	Principais defeitos e nexos causais	Adequação de ferramentas de campo para melhor fiscalização, como Fichas de Verificação de Serviço.

**Quadro 8. Novas características avaliadas a partir do cruzamento de dados**

VARIÁVEL	DURAÇÃO	MANIFESTAÇÃO	TEMPO
Custo	Custo por duração / custo por tempo de reparo	Custo por tipo de manifestação	Custo por tempo (mês/ano/período)
Satisfação	Satisfação por duração (Duração da solicitação / satisfação do cliente)	Satisfação/manifestação (manifestações que impactam na satisfação)	X
Duração	X	Duração média para reparo de cada tipo de manifestação	X
Manifestação	X	X	Manifestação por tempo (mês/ano / período) (recorrências sazonais)



Dessa forma, ao comparar o impacto da plataforma com o contexto atual de coleta e análise de dados, observa-se uma grande discrepância entre a quantidade de indicadores identificados na literatura (6 indicadores, ampliáveis para 13 com a utilização de metodologias de BI e sem alteração nos processos, conforme quadro 8) e os indicadores fornecidos pela Building Analytics (45, listados nos quadros 3, 4, 5 e 6 e ampliáveis a partir de filtros e realces e interesse da organização).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam o potencial do tratamento de dados com a utilização de softwares e metodologias de BI e da plataforma Building Analytic, em especial. A grande quantidade de dados é facilmente importada, e o horizonte para a criação de informação é significativamente ampliado, uma vez que, além dos dados do Data Mart em questão, dados de outros arquivos estão acessíveis e operáveis.

Funcionalidades dos softwares de BI, como o Power BI utilizado, proporcionam ainda mais liberdade ao gestor analista, como os filtros e realces evidenciados, que possibilitam combinações e interações entre indicadores, ampliando exponencialmente o número de informação obtida e solidificando o conceito de self-service BI, em que o próprio analista trabalha as informações que necessita.

Dessa forma, pode-se observar o potencial em unir a alta capacidade do BI aos ricos insumos extraídos dos procedimentos de Assistência Técnica pós-obra. Ao trabalhar com diferentes Data Marts, foi possível obter análises precisas das reclamações no que tange, por exemplo, a natureza dos defeitos, nexos causais, relação com equipes e treinamento, projetos, custos e prazos ou até mesmo fornecedores de materiais.

No que tange a investimentos, observa-se que não são necessárias alterações significativas na estrutura convencional do procedimento para alimentação do modelo proposto de plataforma. Com a implementação da cultura de coleta de dados de forma sistemática e comprometida, a relação esforço versus benefício passa a tornar-se atrativa, evidenciada pelos impactos relevantes na retroalimentação dos procedimentos.

Como continuidade deste estudo, busca-se desenvolver um MVP da Building Analytics. Espera-se que sua implementação no mercado possa fornecer às empresas do setor maior conhecimento organizacional a partir de dados extraídos dos seus projetos em operação e desse modo contribuir para a otimização de diferentes processos, melhorando a qualidade das obras entregues e diminuindo seus custos com manutenção.

## 7. REFERÊNCIAS

AL-MOMANI, A. H. Examining service quality within construction processes. **Technovation**, v. 20, p. 643-651, 2000.

ALVES, K; LIRA, V; JUNIOR, A. O pós obra em empresas da construção civil. **Revista de Engenharia Civil**, n. 56, p. 34-43, 2019.

ANG, L.; BUTTLE, F. Customer retention management processes: A quantitative study. **European Journal of Marketing**, v. 30, n. 1/2, p. 83-99, 2006.

BRITO, J.N. de Sá. **Retroalimentação do processo de desenvolvimento de empreendimentos de habitação de interesse social a partir de reclamações de usuários: estudo no programa de arrendamento residencial**. 2009. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M. C. G. de O. Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 243-265, out./dez. 2015.

DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual**. 10ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

FANTINATTI, P. A. P. **Ações de gestão do conhecimento na construção civil: evidências a partir da assistência técnica de uma construtora**. 2008. 148f. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MOHEMAD, R. et. al. Decision Support Systems (DSS) in Construction Tendering Processes. **International Journal of Computer Science Issues**, v. 7, Issue 2, n. 1, p. 35-45, mar. 2010.

PICCHI, F. A. Oportunidades de aplicação do Lean Thinking na construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, V. 3, n. 1, p. 7-23, 2003.

RAMOS, I.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. Procedimentos de assistência técnica para construtoras. **Téchne**, v. 15, n. 122, p. 58-61, 15 de maio de 2007.

RESENDE, M; MELHADO, S; MEDEIROS, J. Gestão da qualidade e assistência técnica aos clientes na construção de edifícios. In: **CONGRESSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UFJF**, 5., 2002, Juiz de Fora.

KADOLI, S.K. et al. An Enterprise Resource Planning (ERP) For A Construction Enterprise Along with Business Intelligence (BI). In: **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 3, Issue 2, 2014.

# PLATAFORMA PARA DESENVOLVIMENTO E DIVULGAÇÃO DE INSUMOS BIM PARA FORNECEDORES E ESPECIFICADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Alunas:* Jessica Aida Pereira da Silva e Bruna Bitencourt Costa

*Orientador:* Bruno Leão de Brito

## RESUMO

A gestão da informação durante o ciclo de vida do empreendimento ainda é uma dificuldade que o setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações) enfrenta. O paradigma BIM se mostra como a entrada da indústria da construção civil para sua fase 4.0 ao melhorar a produtividade dos seus processos em todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação. Pensando nisso, o objetivo deste trabalho é fomentar o uso do BIM no Brasil por meio da criação de uma plataforma do tipo Software-as-a-Service que funcione tanto como um repositório de objetos inteligentes (building object models), voltados para o mercado brasileiro e documentos de apoio para contratos em BIM, quanto como um ambiente de conexão entre fornecedores e especificadores. Ademais, é esperado que essa plataforma funcione como um propagador de conhecimento BIM. Para tal, realizou-se um estudo de estado da arte sobre o panorama de plataformas que oferecem insumos BIM no mercado brasileiro e estrangeiro e, a partir dessa análise, definiram-se os requisitos e funcionalidades da plataforma aqui proposta. Como resultado dessas primeiras etapas e análises, o artigo apresenta o fluxo de usuários do site e uma proposta inovadora de Produto Mínimo Viável que foi produzido e está em funcionamento.

*Palavras-chave:* BIM, objetos inteligentes, biblioteca BIM.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção apresenta uma série de dificuldades durante a execução de seu principal produto: a edificação. Dentre os principais problemas podem ser mencionados atrasos, contratemplos em obra por falta de compatibilização entre projetos, perda de informação e dificuldades com manutenção de ativos.

O paradigma BIM aparece nesse cenário como um meio para mitigação dessas questões, propondo entender a edificação inserida no seu ciclo de vida como um todo (COSTA, 2015, p. 91). Em outras palavras, a informação da construção será considerada e tratada desde a fase conceitual de projeto até etapas posteriores do ciclo de vida, como a operação e manutenção. Eastman et al. (2011) citam que entre as principais dificuldades de adoção estão a aprendizagem de novas aplicações de software, a reformulação do fluxo de trabalho, o treinamento de equipes e a atribuição de responsabilidades. Logo, entende-se que o uso efetivo da metodologia requer um entendimento profundo sobre a tecnologia e os processos relacionados a ela, havendo necessidade da figura de um consultor que auxilie a conversão do CAD para o BIM (EASTMAN et al., 2011, p. 28). A implantação e uso do BIM, portanto, não se limitam à compra de licenças de software e de computadores (EASTMAN et al., 2011, p. 27).

Outro problema enfrentado durante a adoção do BIM é a dificuldade de encontrar objetos paramétricos com dados dos fabricantes (JACOSKI; HOFFMEISTER, 2014). Estes são importantes por viabilizarem uma modelagem rica em informações sobre os componentes da edificação. No entanto, apesar do seu inegável valor, nota-se que o cenário mundial do desenvolvimento das bibliotecas ainda é moroso, concentrando-se no norte global (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2020).

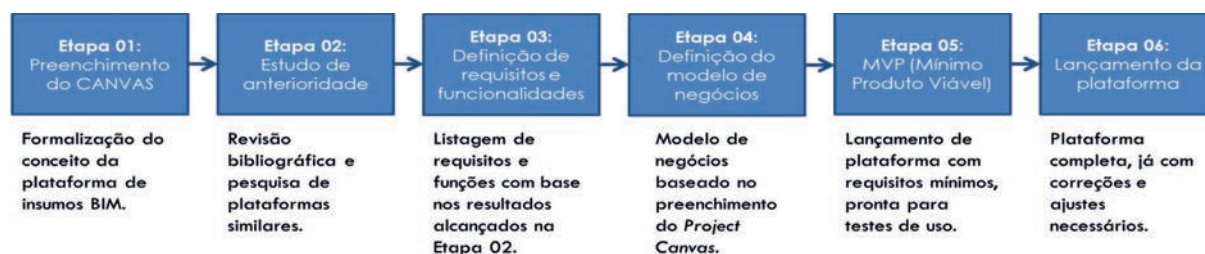
Existe, todavia, uma movimentação por parte dos países da América do Sul para difundir o BIM e desenvolver bibliotecas virtuais. Um exemplo disso é a Estratégia BIM BR, que pretende disseminar o uso do BIM em âmbito nacional (SILVA, 2018). Entretanto, ainda não existe no cenário nacional uma plataforma que forneça insumos BIM, não se limitando a objetos, necessários a atender às demandas das fases do ciclo de vida da edificação, como projeto, construção, gestão e manutenção, com base no modelo BIM. Esses insumos se mostram indispensáveis às novas formas de contratação que serão cada vez mais comuns no país após o Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Esse tipo de insumo é importante para o profissional uma vez que, segundo Manzione (2013), a implantação do BIM irá mudar não só as práticas de trabalho mas também as relações contratuais entre os agentes envolvidos.

Diante dos problemas citados e tomando como exemplo empresas e plataformas que disponibilizam softwares para desenvolvimento de trabalhos como o Microsoft Office por meio do modelo de negócio tipo SaaS (Software-as-a-Service), o objetivo deste trabalho é propor uma plataforma que apresente um repositório de documentos de apoio para contratos em BIM e de objetos inteligentes (building object models), como também um disseminador de conhecimento e ambiente de conexão entre fornecedores e especificadores de produtos da indústria da construção civil.

## 2. MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho, fruto do TCC de uma especialização em BIM, desenvolve suas atividades em seis etapas (Figura 1).

*Figura 1 – Etapas de desenvolvimento do trabalho*



Fonte: Os autores (2020).

O artigo atual se propõe a apresentar os trabalhos desenvolvidos e os resultados obtidos nas Etapas 2 e 3, que correspondem ao Estudo de Anterioridade e à Definição de requisitos e funcionalidades da plataforma proposta.



A elaboração da plataforma (Figura 1) foi iniciada com o preenchimento do Project Model Canvas, ferramenta de gestão de projetos, que tem como objetivo agrupar visualmente as necessidades de um produto. Conseqüentemente, definiu-se o escopo do trabalho, o cronograma e os custos previstos para o desenvolvimento da plataforma.

Com base no preenchimento do Canvas, foi possível direcionar o desenvolvimento de pesquisas com foco em uma revisão de literatura elucidativa sobre o estado da arte de desenvolvimento de insumos BIM e associada a uma pesquisa sobre plataformas que disponibilizam objetos inteligentes e insumos BIM no Brasil e no exterior. No total, foram analisadas doze plataformas com funções similares às que estão sendo propostas no projeto apresentado neste artigo. Após a fase de pesquisa, foi possível revisar os requisitos da plataforma proposta, consolidar as funcionalidades necessárias e a estrutura de fluxo básica do site.

### **3. BIBLIOTECAS BIM E DESENVOLVIMENTO DE SMART OBJECTS**

O objetivo da revisão de literatura para o trabalho foi compreender o estado atual do desenvolvimento de smart objects e documentos BIM no contexto brasileiro e global, de modo a constituir um serviço completo e único em sua essência. Essa revisão bibliográfica começou com o estabelecimento de palavras-chaves referentes ao objetivo final do trabalho (“biblioteca BIM”, “repositório”, “objetos inteligentes”, entre outras) e a posterior seleção de publicações diretamente relacionadas a avaliações de plataformas que oferecem serviços para o desenvolvimento BIM em qualquer fase do ciclo de vida de um empreendimento.

O primeiro momento revelou que, apesar de existir um bom número de plataformas BIM no mercado internacional (ver Tabela 1), as análises sobre esses repositórios ainda se mostram pouco exploradas. Foram selecionadas as publicações com mais relevância para o trabalho e relacionados todos os objetivos delas. Após essa relação, foram percebidas duas categorias: a primeira analisava o repositório propriamente dito, enquanto a segunda explanava o desenvolvimento de bibliotecas BIM para usos específicos.

Na primeira, nenhuma das duas publicações encontradas se propõe a desenvolver objetos nem outro material relacionado à BIM: elas fazem análises de plataformas sobre temas distintos. No Quadro 1, é possível ver que as publicações que se dispõem a estudar os repositórios direcionam suas análises para o Nível de Desenvolvimento (LOD) dos objetos ofertados e para o tipo de interação social possibilitada entre os perfis dos usuários dentro da plataforma, ou seja, compartilhar, curtir e comentar, semelhante à interação em uma rede social.

Já a segunda categoria, “Desenvolvimento de bibliotecas BIM para usos específicos”, sempre tem o objetivo relacionado à apresentação de modelagens dos objetos, cada uma delas destinando a modelagem a usos distintos. Os usos encontrados nas publicações foram análises relacionadas a conforto térmico e acústico ou de desempenho das edificações baseado na NBR 15.575-2013, modelagens destinadas à plug-ins de gestão de orçamentação de objetos, modelagens para

verificações de regra por meio de inserção de parâmetros nos objetos inteligentes, modelagens para habitações sociais e tradicionais destinadas à facilitação da orçamentação e logística do canteiro e modelagens de peças pré-fabricadas para quantificação e análise de esforços mecânicos.

**Quadro 1 – Categorização das publicações encontradas**

CATEGORIA	TÍTULO DAS PUBLICAÇÕES
Análise repositórios BIM	Análise de repositórios de objetos BIM e os níveis de desenvolvimento.
	Social Involvement to Empower a Better BIM Content Library.
Desenvolvimento de biblioteca para usos específicos	Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation.
	Incorporação de Parâmetros de Desempenho em Componentes BIM para Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários.
	BIM Electric Objects Plug-in for Industry 4.0.
	Smart BIM Object For Design Intelligence.
	A Study on the Feature-based Modeling of Han-ok and the Development of a Parametric BIM Library Browser.
	The Development of BIM Library for Building Life Cycle CO2 Assessment.
	Development of Parametric BIM Libraries for Civil Structures using National 2D Standard Drawings.

Fonte: Os autores (2020).

## 4. PLATAFORMAS BIM NO BRASIL E NO MERCADO ESTRANGEIRO

A partir dos levantamentos realizados acerca de plataformas de disponibilização de famílias BIM nacionais e internacionais, estas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pesquisa de plataformas similares

Plataforma	País	Disciplinas	Recursos	Formatos	URL
BIMobject	Suécia	A; MEP; PCI; HVAC; P	Objetos e plugins.	ARCHICAD, Revit, Allplan, Vectoworks.	<a href="https://www.bimobject.com/">https://www.bimobject.com/</a>
Família BIM	Brasil	A; MEP; PCI; HVAC.	Objetos, templates Revit, Rotinas para o Dynamo BIM.	Revit.	<a href="https://www.familiabim.com.br/">https://www.familiabim.com.br/</a>
Vitrine Revit	Brasil	A.	Objetos e cursos.	Revit.	<a href="https://www.vitrinerevit.com/">https://www.vitrinerevit.com/</a>
Plataforma BIMBR	Brasil	A; MEP; P.	Objetos, Contatos Profissionais Guias, Manuais e Normas, Planos de execução e Notícias.	Revit, ARCHICAD.	<a href="https://plataformabimbr.abdi.com.br/">https://plataformabimbr.abdi.com.br/</a>
Revit City	EUA	A; MEP; PCI; HVAC; P.	Objetos.	Revit.	<a href="https://www.revitcity.com/">https://www.revitcity.com/</a>
ARCAT	EUA e Canadá	A; MEP; PCI; HVAC.	Objetos.	Revit.	<a href="https://www.arcata.com/">https://www.arcata.com/</a>
Sweets	EUA e Canadá	A; MEP; PCI; HVAC.	Objetos.	Revit.	<a href="https://sweets.construction.com/">https://sweets.construction.com/</a>
NBS	Reino Unido, Canadá e Austrália	A; MEP; PCI; HVAC; P.	Objetos Plug-in Guias.	AECOSim, ARCHICAD, Revit, Vectorworks.	<a href="https://www.nationalbimlibrary.com/">https://www.nationalbimlibrary.com/</a>
<i>Productspec</i>	Nova Zelândia	A; MEP; HVAC.	Objetos e <i>Templates.</i>	ARCHICAD, Vectorworks, Revit.	<a href="https://productspec.co.nz/">https://productspec.co.nz/</a>
<i>Parametric Components</i>	EUA	A.	Objetos e <i>Templates.</i>	Revit.	<a href="https://parametriccomponents.com/">https://parametriccomponents.com/</a>
BIM Store	Reino Unido	A; MEP; P	Objetos, Fórum e Notícias.	Revit.	<a href="https://www.bimstore.co/">https://www.bimstore.co/</a>
Plannerly	EUA	Documentos	Plano de execução. Escopo. Planejamento Gerenciamento Verificação de modelo.	Não possui arquivos para <i>softwares</i> BIM.	<a href="https://www.plannerly.com/">https://www.plannerly.com/</a>

A – Arquitetura; MEP – Mecânica, elétrica e hidráulica; HVAC – Aquecimento, ventilação e ar-condicionado; PCI – Projeto de combate a incêndio; P – Paisagismo.

Fonte: Os autores (2020).

Os materiais disponibilizados por esses sites englobam objetos inteligentes em BIM e catálogos de fabricantes locais. Nota-se também que, entre as plataformas analisadas, existe uma carência em objetos inteligentes para outros softwares BIM, como o ARCHICAD e o Vectoworks. É possível notar essa discrepância analisando a Tabela 1.

Do conjunto de plataformas analisadas, somente duas disponibilizam planos de execução BIM: a Plannerly e a Plataforma BIM BR (Tabela 1). A Plannerly é direcionada para gestão e coordenação de projetos e, por isso, não disponibiliza objetos inteligentes nem possui adaptação para o mercado nacional. A Plataforma BIM BR se configura como a única plataforma que possui objetos inteligentes e planos de execução BIM, embora não englobe demais documentos deliberantes necessários ao fluxo BIM.

No Brasil, os sites que não pertencem à iniciativa pública como a Plataforma BIM BR estão limitados a funcionar como um repositório de famílias paramétricas BIM, como é possível ver nos exemplos nacionais “Família BIM” e “Vitrine Revit”, cujos conteúdos estão apresentados na Tabela 1.

## 5. REQUISITO E FLUXOS DA PLATAFORMA

A composição do estado da arte relacionado às plataformas BIM e a análise delas foi importante para elaboração do serviço proposto por este trabalho. O estado da arte mostrou que as publicações se direcionam mais ao desenvolvimento dos objetos do que da plataforma propriamente dita. Foram encontradas nove publicações com grande relevância para o trabalho e somente duas delas analisavam a plataforma e não os objetos e sua modelagem (ver Quadro 1).

A análise das plataformas em seus sites e o posterior comparativo apresentado na Tabela 1 mostrou que o mercado nacional ainda é incipiente na sua produção de objetos BIM, deixando ao projetista as opções apenas dos maiores fornecedores do mercado. Além disso, revelou a carência na disponibilização dos documentos deliberantes pelas plataformas, uma vez que a única que possui este serviço é a Plataforma BIM BR. Foi ainda possível notar a predominância do Revit para disponibilização dos objetos.

A sistematização das plataformas encontradas serviu para auxiliar na definição de funcionalidades da plataforma em desenvolvimento (ver Tabela 2). Estas atividades caracterizaram a Etapa 03.

**Tabela 2 – Requisitos de projeto e funcionalidades da plataforma**

<b>Requisitos de projeto</b>	<b>Funcionalidade</b>
Seção de fornecedor: área de fácil acesso para o fornecedor interessado em desenvolver suas bibliotecas com a equipe técnica da plataforma. Tempo de resposta imediato.	Botão com link direto para seção do fornecedor na página inicial, visível e central.
Visualização do objeto inteligente com seus parâmetros antes do <i>download</i> .	Visualização dos objetos através do <i>Autodesk Forge Viewer</i> , ferramenta de visualização e acesso à informação via nuvem.
Ser um <i>Marketplace</i> entre fornecedores e especificadores.	Seção “Objetos”, com objetos inteligentes para especificadores e a possibilidade de fornecedores desenvolverem bibliotecas BIM.
Apoiar a implantação BIM através da disponibilização de documentos deliberantes.	Seção “Documentos” disponibilizando modelos de contrato, planos de execução e diretrizes de modelagem.
Divulgar licitações em BIM.	Seção “Licitações”, listagem de licitações BIM.
Disseminar o conhecimento através de cursos específicos para desenvolvimentos BIM.	Seção “Cursos”, com aulas sobre modelagem e demais assuntos relacionados a BIM.

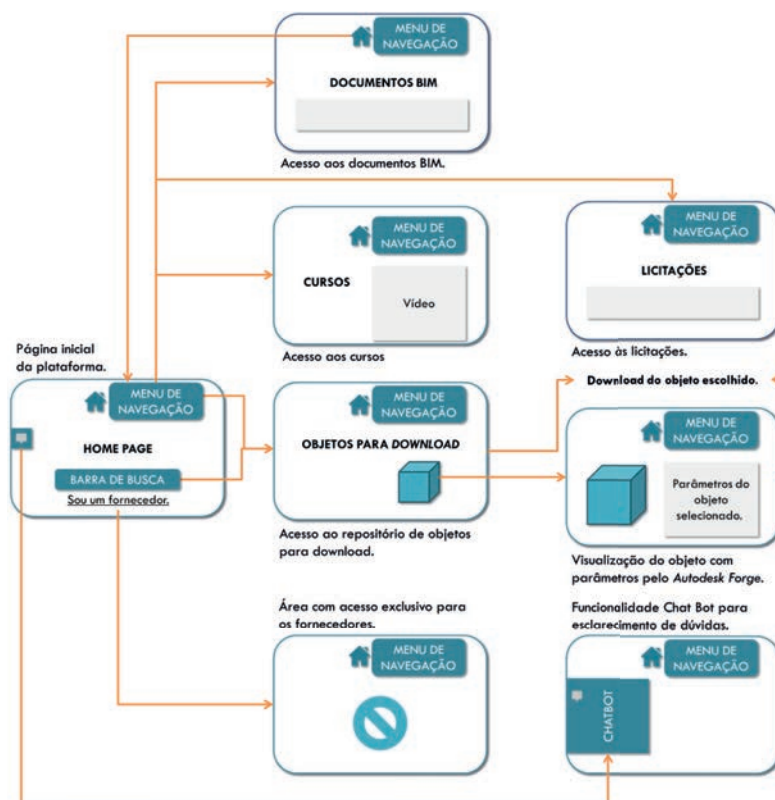
Fonte: Os autores (2020).

As principais funcionalidades planejadas para a plataforma e não presentes nos sites levantados são: a ferramenta de visualização do objeto com seus parâmetros em tempo real por meio do Autodesk Forge e a disponibilização de conteúdo BIM além de objetos inteligentes, como modelos de contrato e diretrizes deliberantes de modelagem.

Posteriormente, os requisitos listados na Tabela 2 foram transformados em fluxos de usuário (ver Figura 2), que mostram a série de ações que os clientes terão que tomar para acessar plenamente as funcionalidades da plataforma.



Figura 2 – Fluxos propostos para a plataforma a partir da página inicial



Fonte: Os autores (2020).

O fluxo de uso do site foi pensado para que ele seja um ambiente de conexão entre fornecedores e especificadores, que apoie implantações BIM e que dissemine conhecimento acerca do paradigma BIM. As demais funções (cadastro, planos de assinatura, sessões de pagamento, exclusiva para fornecedores e de busca por objetos inteligentes) são necessárias a todos os modelos de negócio on-line do tipo SaaS.

## 6. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O trabalho aqui apresentado mostrou, por meio das pesquisas realizadas, que existe a demanda para desenvolvimentos teóricos sobre bibliotecas e repositórios BIM. Os estudos encontrados são direcionados à análise de repositórios ou ao desenvolvimento de objetos inteligentes para usos específicos. Nesse quesito, a literatura encontrada está sempre relacionada aos objetos paramétricos, não envolvendo demais insumos como, por exemplo, documentos e informações sobre implantação BIM.

Notou-se também uma carência no mercado brasileiro de sites ou plataformas que disponibilizem tais insumos. As plataformas que disponibilizam uma maior quantidade de conteúdo são estrangeiras e, por consequência, esse teor é direcionado para objetos inteligentes e catálogos de fabricantes que não operam no Brasil. Para o mercado estrangeiro, foi encontrada uma plataforma que disponibiliza planos de execução BIM, mas não se configura como repositório de objetos e não possui adaptação para o mercado nacional.

Ademais, somente a Plataforma BIM BR disponibiliza planos de execução BIM, mas não oferece nenhum outro documento como modelos de contrato, diretrizes de modelagem ou material sobre licitações

em BIM. Esse fato revela uma lacuna de mercado que deve ser preenchida por uma plataforma completa, que auxilie o profissional da construção civil a desenvolver seus projetos plenamente em BIM em todas as etapas dos seus ciclos de vida.

Os smart objects são majoritariamente disponibilizados na extensão proprietária do Autodesk Revit, demonstrando carência generalizada de insumos BIM para outros programas, como o ARCHICAD e o Vectworks. Acredita-se que essa situação aconteça porque, além do Autodesk Revit ser líder de mercado internacional, ele disponibiliza templates para o desenvolvimento de seus objetos, facilitando que o usuário final produza objetos e os disponibilize on-line. Ademais, nota-se que plataformas menores, cuja quantidade de objetos disponibilizados é módica, comumente disponibilizam apenas objetos referentes à disciplina de arquitetura, revelando uma escassez de material de trabalho para as outras áreas como, por exemplo, instalações hidrossanitárias e elétrica.

Com relação ao fluxo proposto, ele se mostra funcional, pois permite que o usuário encontre de forma facilitada o conteúdo buscado, uma vez que todas as possibilidades se apresentam na home page. Dessa forma, a plataforma se diferencia por ser mais que um site para download de smart objects, agindo como um ambiente de conexão entre fornecedores e especificadores. Além disso, facilita o acesso ao conhecimento por meio da sessão de cursos e atua como incentivador de desenvolvimentos BIM divulgando as licitações específicas.

Portanto, diante dos fatores citados e da possibilidade de mercado que foi apresentada, é proposta uma plataforma para desenvolvimento de insumos BIM alinhada com a Estratégia BIM BR e com o mercado nacional, englobando desenvolvimento de objetos, desenvolvimento de documentos deliberantes, apresentação de licitações BIM e cursos para aprimoramento do aprendizado.

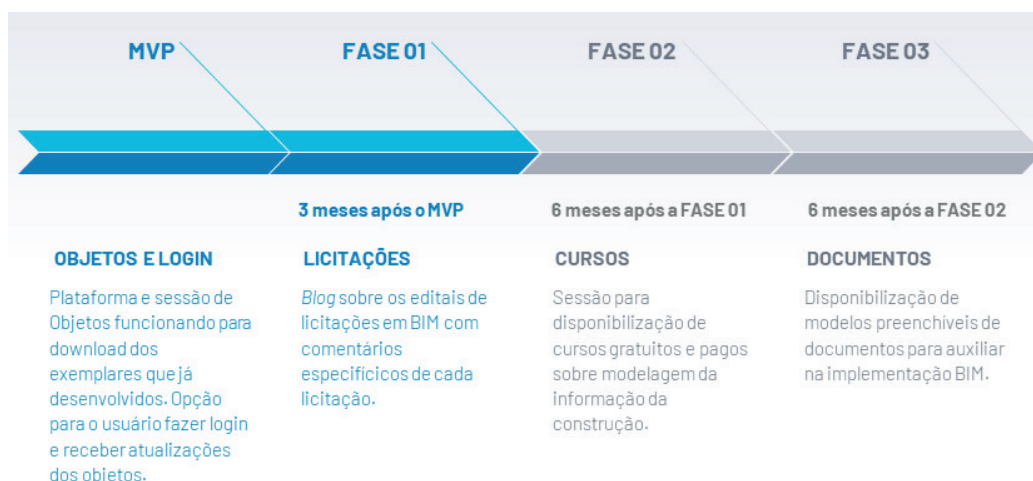
## 7. PROPOSTA DE MVP

Com o intuito de viabilizar a plataforma proposta, além de testar sua viabilidade e entregar valor ao cliente, decidiu-se como Produto Mínimo Viável deste trabalho uma versão da plataforma contemplando unicamente a sessão de objetos e o login de usuário. Dessa maneira, entrega-se valor ao fornecedor da construção civil, dando a este a possibilidade de desenvolvimento de sua biblioteca BIM e ao usuário final – arquiteto, engenheiro ou especificador – a possibilidade de encontrar o objeto BIM validado pelo fabricante, on-line e de forma gratuita.

A sessão de login abre a possibilidade de compor uma lista de e-mails de usuários interessados no conteúdo que está sendo disponibilizado para posteriormente convertê-los em clientes quando a plataforma implantar versões pagas.

Para consolidação da plataforma em sua versão completa, foi desenvolvido um diagrama com as fases de implantação (ver Figura 3), iniciando com o lançamento do MVP e seguindo com os intervalos de tempo necessários para desenvolvimento dos insumos que precisam ser produzidos para o funcionamento de cada sessão.

Figura 3 – Etapas para implantação da plataforma completa



Fonte: Os autores (2020).

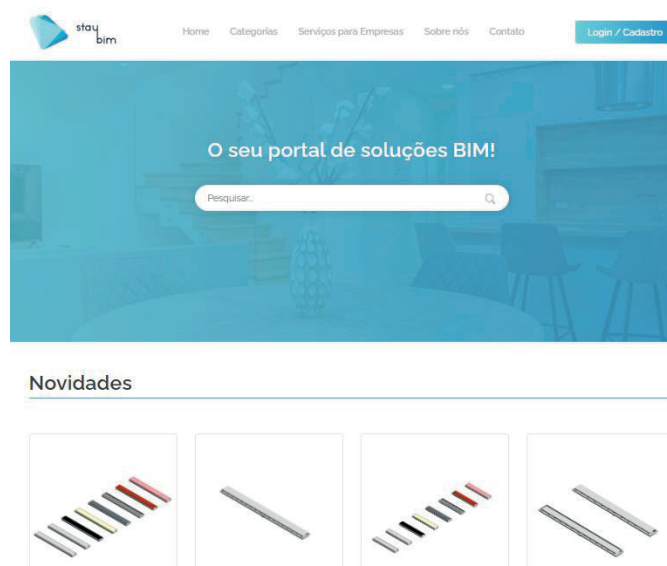
Até o momento, cinco empresas foram contatadas e quatro objetos inteligentes foram desenvolvidos, como primeiros a serem disponibilizados no MVP. Os objetos desenvolvidos foram dois modelos paramétricos de cuba e dois modelos de mobiliário urbano infantil. A lista de parâmetros acrescentada em cada modelo busca atender às etapas do ciclo de vida da edificação. Iniciam-se com informações relacionadas aos projetos, como especificações de modelo ou linhas dos produtos, informações de custo para fase de orçamentação e atinge até informações para gestão e manutenção de ativos, como ano de fabricação, ano de aquisição, responsável pela venda e número da nota fiscal. Esses parâmetros permitem simulações de desempenho, de logística e de orçamentação que podem ser alinhados aos conceitos da Indústria 4.0 por meio de plug-ins e outros softwares para além dos usados na modelagem. Simular situações reais abre a possibilidade de tornar as práticas mais assertivas, melhorando produtividade dos processos da construção civil e mitigando desperdícios tão grandes nessa indústria.

## 8. PLATAFORMA EM FUNCIONAMENTO

O Mínimo Produto Viável foi pensando para entregar a melhor experiência do usuário, por isso, inicialmente a plataforma foi disponibilizada de forma totalmente gratuita, com o intuito de se colocar no mercado e ser reconhecida como marca, antes de cobrar pelos downloads. O nome dado a ela foi stayBIM, uma alusão à proposta da plataforma que não somente se propõe a auxiliar o usuário a começar a usar essa metodologia mas também que ele possa seguir dessa forma em todos os processos do ciclo de vida da edificação.

A Home Page (ver Figura 4) foi desenhada para apresentar inicialmente um campo de busca, convidando o usuário a pesquisar algo específico com maior facilidade. Logo após essa seção, existe um espaço exclusivo para as novidades e últimos uploads realizados.

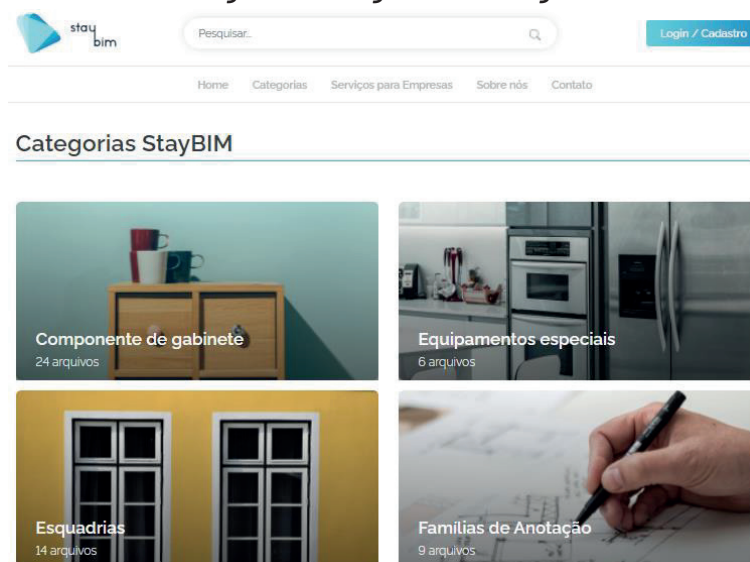
Figura 4 – Home page da stayBIM.



Fonte: Os autores (2020).

Ainda pensando na experiência do usuário, é possível acessar a página de Categorias (ver Figura 5) e navegar por objetos inteligentes agrupados por conjunto de características. Essas categorias foram pensadas de forma similar ao software Revit, que, para o MVP, é o único formato disponível para download na plataforma. Os tipos de objetos até então abrangidos pela plataforma são 12: componentes de gabinete, equipamentos especiais, esquadrias (portas e janelas), famílias de anotação, iluminação, mobiliário, mobiliário urbano, peças hidrossanitárias, paredes, cortina, sistema de mobiliário e telhado.

Figura 5 – Página de categorias

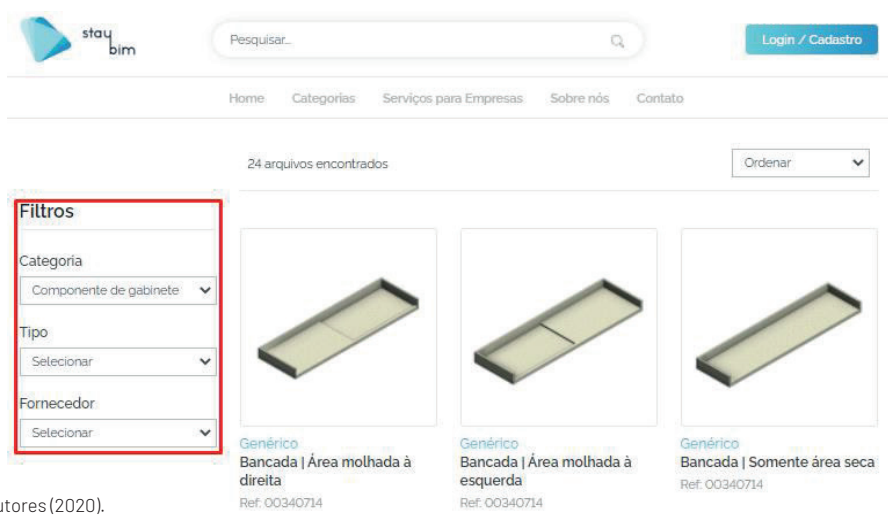


Fonte: Os autores (2020).

Quando o usuário acessa alguma categoria ou utiliza o botão “Ver Mais” na sessão de Novidades da Home Page, o site responde com a lista de objetos similar à estrutura de uma loja on-line, possuindo também uma barra localizada na lateral esquerda com os filtros para melhor busca do objeto ou documento (ver Figura 6). É possível, portanto, filtrar os objetos pela sua categoria, pelo seu tipo, bem como pelo fornecedor.



Figura 6 – Página de objetos.

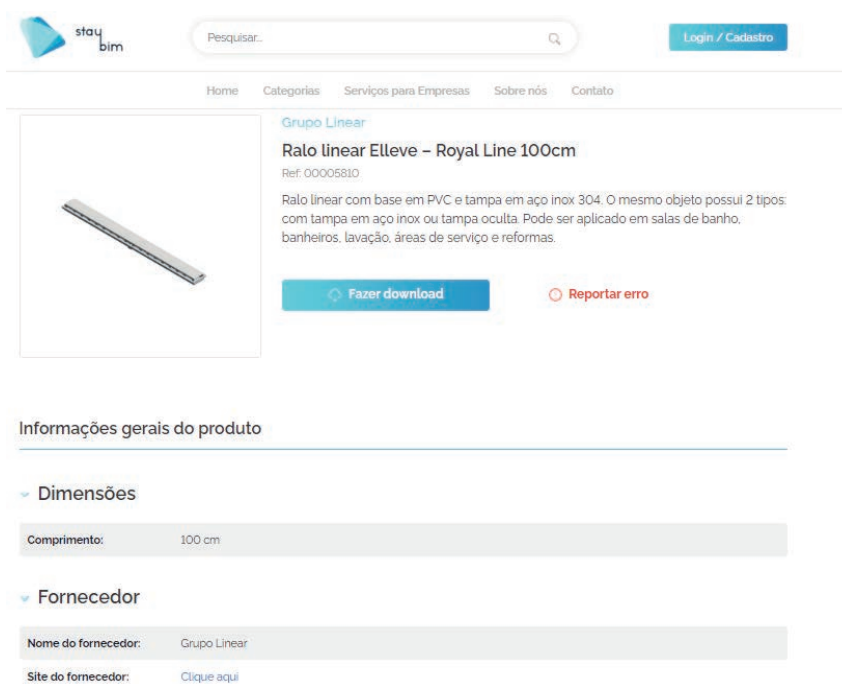


Fonte: Os autores (2020).

Como estratégia para aproximar os fornecedores, projetistas e especificadores da indústria da construção civil, disponibilizamos um link na página do objeto que direciona o usuário à página do produto no site do fornecedor, bem como adicionamos um parâmetro de “contato” e link nos objetos desenvolvidos. Desse modo, o profissional pode fazer o download de manuais técnicos e acessar informações mais detalhadas acerca dos produtos.

Para que o usuário faça o download do material que deseja, é preciso acessar a página do objeto ou documento. Nessa página (ver Figura 7), além do botão de “Fazer Download”, são disponibilizadas informações para que o usuário não se engane sobre qual objeto está sendo descarregado. Ainda nessa página, foi pensando o botão de report de erro, para que o usuário possa contribuir com o aprimoramento dos objetos, sendo parte ativa no processo de melhoria da plataforma.

Figura 7 – Página de cada objeto com informação do fornecedor



Fonte: Os autores (2020).

## 9. REFERÊNCIAS

ABDI Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (org.). **Plataforma BIM BR**. Disponível em: <https://plataformabimbr.abdi.com.br/>.

COSTA, C. H. D. A. **Faculdade de Engenharia civil , Arquitetura e Urbanismo 3a . Versão do Horário - 2s2012 Faculdade de Engenharia civil , Arquitetura e Urbanismo**. [S.l.: S.N.].

EASTMAN, Charles M. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

JACOSKI, C. A.; HOFFMEISTER, L. M. Análise de repositórios de objetos BIM e os níveis de desenvolvimento Analysis of BIM objects repositories and the development levels. **ENGEVISTA**, p. 255-269, 2018.

MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. São Paulo, v. 371, 2013.

SILVA, Luísa Schneiders da. **Estratégia BIM BR. 2018**. Elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/bim-no-dnit-1/estrategia-bim-br>.

# SMART FOR FACILITIES: O USO DO BIM PARA GERENCIAMENTO DE ATIVOS ENERGÉTICOS DE EDIFICAÇÕES

*Aluna:* Mariana Henry Pereira

*Orientadora:* Elaine Pinto Varela Alberte

## RESUMO

A demanda por edificações de alta eficiência energética que possuam certificações ambientais tem sido cada vez mais frequente na sociedade contemporânea. Contudo, a indústria relacionada a arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO) ainda carece de instrumentos e processos que auxiliem no desenvolvimento de projetos com esse perfil. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, tem-se a oportunidade de implementar soluções para permitir que o gerenciamento de facilities (em inglês facilities management - FM) das instalações elétricas seja assistido de forma eficiente e produtiva. A partir da análise de literaturas pré-existentes, a Modelagem da Informação da Construção (em inglês, Building Information Modeling - BIM) se destaca nesse contexto por proporcionar ao FM o aumento da qualidade e do desempenho da construção, a análise da eficiência energética e da sustentabilidade e o melhor gerenciamento e operação das edificações. Desse modo, este artigo apresenta uma proposta de desenvolvimento de processo utilizando a metodologia BIM para gestão, operação e análise de desempenho de facilities de edificações considerando o contexto da eficiência energética com o objetivo de obter e manter a certificação ambiental IPTU Verde. A proposta compreende um processo integrado por três etapas: (i) concepção; (ii) modelagem e (iii) gerenciamento de facilities, nas quais as tecnologias utilizadas foram definidas a partir de revisão bibliográfica. A aplicabilidade e eficiência do processo foram avaliadas por simulações, por meio de seu uso em um projeto típico de área comum de um edifício residencial. Os dados indicaram bons resultados para os quatro indicadores analisados: (i) estrutura de armazenagem de informações; (ii) eficiência em tempo; (iii) análise do consumo energético e (iv) quantidade de informações obtidas, evidenciando o potencial do processo para auxílio na obtenção da certificação ambiental IPTU Verde.

**Palavras-chave:** BIM; Gerenciamento de facilities; ativos energéticos; IPTU Verde.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da Construção Civil é uma grande consumidora de recursos naturais, absorvendo, segundo Wines (2000), 16% do fornecimento mundial de água pura, 25% da colheita de madeira e 40% de seus combustíveis fósseis e materiais manufaturados. A energia é gerada, principalmente, por fontes de combustíveis fósseis não renováveis, razão pela qual os esforços pela redução do consumo de tais recursos devem estar presentes desde a etapa de concepção do projeto.

De acordo com Goulart (2008), ao prever essas questões na etapa de concepção, as edificações podem utilizar menos recursos em todo o ciclo de vida, além de assegurar que os sistemas e componentes sejam mantidos de acordo com os requisitos operacionais adequados, garantindo, assim, o gerenciamento eficiente de facilities.

Segundo a International Facility Management Association, o gerenciamento de facilities, como a integração de processos dentro de uma organização, visa manter e desenvolver serviços que apoiam e melhoram a eficácia de suas atividades primárias (IFMA, 2015). Devido à crescente importância da valorização do estado do edifício, o gerenciamento de facilities tornou-se cada vez mais necessário para melhorar a relação entre o desempenho do edifício e o seu valor agregado.

No entanto, Teicholz (2013) aborda que as documentações reunidas durante o ciclo de vida da maioria das edificações, e que são de suma importância para utilização no gerenciamento de facilities, são instaladas em depósitos desorganizados que dificultam o acesso pelos gestores. Além do desperdício de tempo para encontrar as informações necessárias, há a desatualização dos componentes gráficos de projeto que dificultam o uso e a operação da edificação.

Segundo East e Carrasquillo-Mangual (2013), em países como os Estados Unidos e os países que compõem o Reino Unido, tornou-se obrigatória a entrega do histórico da obra em Formato de Documento Portátil (Portable Document Format - PDF). No entanto, essa imposição não solucionou o problema, pois a procura pela informação e a desatualização dos dados continuaram sendo um entrave. Uma das soluções possíveis é a utilização de sistemas de gerenciamento de facilities, nos quais as informações impressas são transferidas para arquivos digitais pelo gestor ou proprietário da edificação (TEICHOLZ, 2013).

Nesse cenário, percebe-se a oportunidade de servir-se de soluções tecnológicas, como a metodologia BIM, com o objetivo de tornar o gerenciamento de facilities dos ativos energéticos eficiente e produtivo durante seu uso e operação.

Embora Eastman et al. (2008), Kiviniemi e Codinhoto (2014) e CIC (2013) afirmarem que a indústria da Construção Civil, com foco em gerenciamento de facilities, ainda encontre-se nos primórdios do uso do BIM, ganhos significativos já podem ser observados no cenário nacional e internacional. Pode-se listar uma série de benefícios que a utilização do BIM proporciona ao FM, como o aumento da qualidade e do desempenho da construção, a análise da eficiência energética e sustentabilidade, o melhor gerenciamento e operação das edificações e a interação com sistemas de operação e gerenciamento de facilities (EASTMAN et al. 2008).

Este artigo apresenta uma proposta de desenvolvimento de processo para gestão, operação e análise de desempenho dos ativos energéticos de uma edificação, com o uso da metodologia BIM. A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar o potencial do processo para tais funções, bem como identificar novas oportunidades de análise, como o uso da tecnologia para auxiliar na obtenção e manutenção de certificados ambientais que analisam a eficiência energética do edifício, a exemplo do IPTU Verde.

## 2. BIM x FM EM EDIFICAÇÕES

O BIM pode ser definido como uma modelagem paramétrica da construção que possibilita aos projetistas conceber e construir um projeto totalmente virtual. Dentre os usos do modelo, observa-se a possibilidade de proporcionar o gerenciamento de dados da edificação para torná-lo mais eficiente (EASTMAN et al, 2008).

De acordo com CIC (2013), a implantação do BIM na etapa de operação e manutenção (O&M) tem por objetivo o planejamento da manutenção predial, a análise do sistema construtivo e as gestões de ativos, do espaço e do modelo. Moreira e Ruschel (2015) indicam que o interesse do setor de AECO na adoção do BIM para o gerenciamento de facilities tem mostrado crescimento, uma vez que o processo permite agregar informações do projeto desde a fase de concepção, passando pela execução até as fases de O&M, resultando em economia de tempo e redução de custos.

De acordo com Kassem et al. (2015), a adoção do BIM na gestão de facilities apresenta inúmeros benefícios, como a melhoria dos processos e da precisão dos dados; o aumento da eficiência na execução das ordens de Serviço – OSs; a melhoria do acesso aos dados de FM, uma vez que as informações devem estar associadas ao modelo BIM; o aumento da eficiência na criação de plantas, elevações e visualizações a partir de um modelo integrado, pois são feitas de maneira automática a partir de planos que seccionam o modelo 3D e oferecem elevada precisão; a capacidade de anexar dados legais e de garantias com a possibilidade de extrair esses dados do modelo com facilidade no momento oportuno; o potencial para identificar espaços e emitir relatórios de falhas precisos por meio da consulta ao modelo e, por fim, a capacidade de executar projetos de reforma em um ambiente 3D.

Para o FM, existem diversos sistemas que atuam no gerenciamento de edificações a exemplo do Computer-aided Facility Management (CAFM), Computerized Maintenance Management System (CMMS), Building Management System (BMS) e Integrated Workplace Management System (IWMS) (NIBS, 2013). O CAFM pode ser definido como um sistema que reúne recursos gráficos e banco de dados de outros sistemas como BIM, CAD, CMMS e outras fontes de dados que podem ser extraídas pelo do COBie (TELES, 2016), o que facilita a alimentação de dados nos sistemas e proporciona uma economia de tempo aos gerentes (NIBS, 2013).

Buscando apropriação do conhecimento acerca do tema, foram feitas buscas pelas fontes de pesquisas bibliográficas usando a base de dados digitais nacional: Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e internacionais: American Society of Civil Engineering (ASCE) e Science Direct, cujos critérios de busca foram: (i) publicações nacionais e internacionais publicadas a partir de 2010 (o espaço temporal foi definido a partir das datas de publicações de Eastman et al. (2008), CIC (2013) e Kiviniemi e Codinhoto (2014), que caracterizaram o nível de maturidade da indústria da Construção Civil com foco em gerenciamento de facilities); (ii) palavras-chave: BIM, Building Information Modeling, facilities management, Facilities Management, facility management, Facility Management, FM, gerenciamento de facilities e gerenciamento de facility. Foram considerados como critérios de exclusão: (i) publicações repetidas; (ii) publicações que não pertenciam à área AECO; (iii) publicações que não abordassem BIM e facilities como eixo norteador da pesquisa, (iv) publicações que não estivessem disponíveis em meio eletrônico.



A pesquisa bibliográfica teve como resultados: 186 referências no BDTD, 132 referências na ASCE e 57 referências na Science Direct, resultando um total de 375 fontes bibliográficas. Aplicado os critérios de exclusão na amostra, obteve-se 17 publicações que compõem a amostra final e estão representadas na Tabela 1.

Eastman et al. (2008) e Kiviniemi e Codinhoto (2014) caracterizam a indústria da Construção Civil, com foco em gerenciamento de facilities, ainda incipiente no que tange ao uso de BIM e CIC (2013), indicando que a aplicação do BIM na fase de operação ainda exigiria métodos mais avançados para atingir níveis de maturidade mais elevados. No entanto, apesar dessas afirmações, a pesquisa bibliográfica na área de facilities demonstrou que, dentro da amostra analisada, 59% revelaram um estudo teórico acerca do tema, enquanto 35% apresentaram um estudo de caso aplicado com a utilização de softwares BIM e, ainda, 6% valeram-se da proposta de Design Science Research (DSR).

De acordo com Mota (2017), para um modelo BIM ser aplicado para gerenciamento de facilities, é importante analisar fatores como: (i) LOD (level of development) do modelo, ou seja, o nível de informações geométricas e não geométricas conferidas ao modelo, (ii) a parametrização dos objetos, com a criação e preenchimento de propriedades de tipo e de instância, principalmente no momento da concepção do projeto, e (iii) alimentação dos dados nas demais etapas do ciclo de vida, buscando envolver a participação de todos os agentes e evitar esforços em demasia em etapa posterior à entrega da edificação.

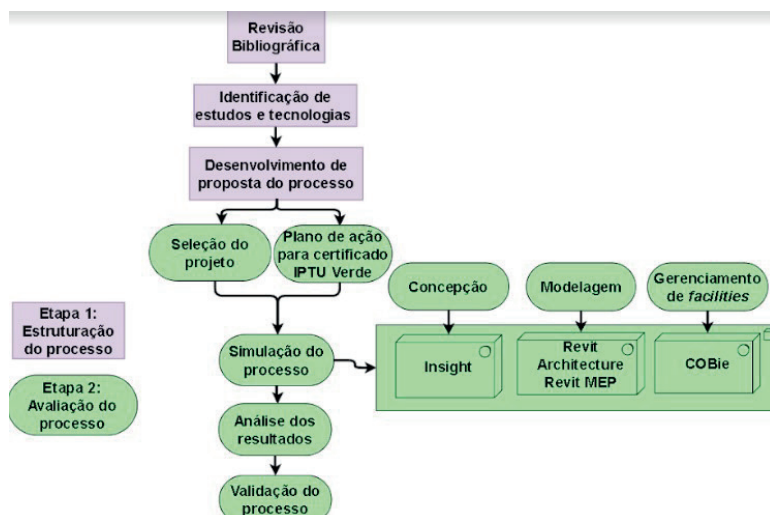
**Tabela 1 – Estado do conhecimento do uso do Modelo BIM para gerenciamento de facilities**

Autor (ano)	Tipo de estudo			Tecnologias aplicadas		
	Teórico	Aplicado / Estudo de caso	Design Science Research (DSR)	Software de Modelagem	Ferramentas de Gerenciamento	COBie
Faroni, M. C. C. (2017)		X		X	X	
Mello, G. P. (2016)				X	X	
Teles, R. P. (2016)		X		X	X	X
Mota (2017)		X		X		X
Matarneh; Danso-Amoako. Al-Bizri; Gaterell (2019)	X					
Wong; Ge; Xiangjian He (2018)	X					
Pishad-Bozorgi; Gao; Eastman; Self (2018)	X					
Aiz; Nawawi; Ariff (2016)	X					
Pam; Edwards (2017)			X			X
Bercerik-Gerber; Jazizadeh; Li; Calis (2012)	X					
Lavy; Saxena; Dixit (2019)		X		X	X	X
Liu; Issa (2015)	X					
East; Nisbet; Liebich (2012)		X				X
Ikedashi; Uyanga (2017)	X					
Gu; Argan; Akinci (2014)		X		X		X
Anumba; Gannon; Dubler (2015)	X					
Kiviniemi; Codinhoto (2014)	X					

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa compreendeu um estudo exploratório com o objetivo de propor um processo para gestão, operação e análise do desempenho de facilities de uma edificação, buscando a eficiência energética por meio da metodologia BIM. Compreendendo uma etapa de estruturação da proposta e outra de avaliação, a estratégia metodológica é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Estratégia metodológica do estudo proposto



A **Etapa 1 (Estruturação do processo)** envolveu uma revisão bibliográfica, abarcando a caracterização e correlação entre os assuntos BIM e gerenciamento de facilities, buscando-se a identificação de estudos e tecnologias para realização eficiente de gerenciamento de facilities. A partir de revisão bibliográfica, foram identificados os resultados apresentados na Tabela 1. Tendo em vista os resultados da atividade anterior, elaborou-se uma proposta de desenvolvimento de processo para gestão, operação e análise de desempenho de ativos energéticos de uma edificação. Concebeu-se um processo integrado por três etapas: (i) concepção, (ii) modelagem e (iii) gerenciamento de facilities. As tecnologias adotadas em cada etapa foram escolhidas a partir do mapeamento de softwares realizado na revisão bibliográfica e na possibilidade de integração entre elas:

- Revit (versão 2019): software escolhido na etapa de modelagem devido à sua facilidade de operação, interface intuitiva e existência de plugins que se tornaram necessários para o desenvolvimento do projeto. A utilização do padrão COBie também foi um fator determinante na escolha do software de modelagem, uma vez que, por meio de um estudo comparativo que atendeu ao COBie As-Designed, Brandão, Machado e Teles (2016) consideraram a ferramenta de modelagem uma opção mais intuitiva para o processo de extração do padrão COBie.

- Insight (versão Insight\_Addin\_2019\_v4040): entre as ferramentas de análise energética, o Insight apresentou-se mais relevante devido à sua potencialidade de conceber um modelo de energia para busca de espaços mais eficientes em termos de eficiência energética com mecanismos avançados de simulação e dados de análise de desempenho de edifícios (Autodesk, 2019b), além da existência de um plugin para o software Revit, no qual os modelos arquitetônico e elétrico foram desenvolvidos;

- Autodesk COBie Extension for Revit (versão 7.1.7159.0): A utilização do padrão COBie demonstrou ser uma real oportunidade de considerar critérios relativos à etapa de uso e operação na fase de concepção de projeto. Nesse processo, a ferramenta possibilita a criação de propriedades

(Classification manager), exportação do padrão para tabelas de formato XML extraídas de forma automatizada e a comunicação com ferramentas de O&M, visando à aplicação do BIM na operação e manutenção (Autodesk, 2019a).

**A Etapa 2 (Avaliação da Proposta)**, por sua vez, compreendeu a seleção de um projeto e a configuração do plano de ação buscando o certificado IPTU Verde, com vistas a possibilitar a análise do potencial do processo para apoiar a obtenção e manutenção de certificações ambientais. O IPTU Verde foi escolhido por ser uma certificação em ascensão na região que busca fomentar práticas sustentáveis destinadas à redução do consumo de recursos naturais e redução dos impactos ambientais em construções, ampliações e/ou reformas de empreendimentos imobiliários.

Dessa forma, foram realizadas simulações do processo proposto em um projeto de área comum de um edifício localizado no bairro da Barra na cidade de Salvador, representada por um salão de festas de área útil equivalente a 73 m<sup>2</sup>, contendo dois banheiros de 3 m<sup>2</sup> cada e uma copa de 7 m<sup>2</sup>.

Para o projeto, foi traçado o plano de se alcançar os requisitos máximos do item de sustentabilidade (16) da certificação, que solicita o uso de sistemas de iluminação em 100% das áreas comuns, com distribuição em circuitos independentes e dispositivos economizadores, como sensores de presença (equivalente a 5 pontos na certificação).

Após as simulações, analisou-se a aplicabilidade do processo e das tecnologias adotadas e, em seguida, buscou-se avaliar se o processo conseguiria alcançar o objetivo almejado de modo eficiente, permitindo a construção virtual e, por consequência, a observação da eficiência das escolhas dos projetistas, incluindo a demanda pela certificação ambiental por meio dos seguintes indicadores:

- Armazenagem de informações: se as tecnologias adotadas fornecem estrutura de armazenagem de informações para posteriores etapas (análise qualitativa);
- Eficiência em tempo: se as tecnologias proporcionam economia de tempo para gerentes de facilities sem custo adicional (análise qualitativa);
- Análise do consumo energético: se as tecnologias permitem análise adequada do consumo de energia elétrica dentro do contexto sugerido pela certificação ambiental (análise qualitativa);
- Quantidade de dados relevantes (Insight): quantos dados proporcionados pelo Insight permitem a análise da eficiência energética do projeto (análise quantitativa);
- Quantidade de dados relevantes (COBie): quantos dados proporcionados pelo COBie permitem auxiliar o setor de FM (análise quantitativa).

A Tabela 2 apresenta os objetivos de cada etapa, as tecnologias adotadas e os indicadores de desempenho adotados para análise da aplicabilidade da ferramenta.

**Tabela 2 - Etapas, objetivos, tecnologias adotadas e indicadores de desempenho.**

Fonte: autoras

Etapa	Objetivo	Tecnologias adotadas	Indicadores de desempenho
Concepção	Estudo preliminar que pressupõe a realização de análises de sensibilidade e avaliações de custo ótimo a partir de modelo de energia desenvolvido a partir da modelagem de massa e utilização de georreferenciamento. Definição de parâmetros e critérios para a etapa de modelagem de projeto. Definição de propriedades analisáveis para o gerenciamento de facilities.	Insight	Estrutura de armazenagem de informações; Análise do consumo energético; Quantidade de informações obtidas que permite auxiliar o gerenciamento de ativos energéticos.
Modelagem	Execução dos parâmetros e critérios definidos para o modelo buscando a comunicação entre as etapas de concepção e gerenciamento de facilities.	Revit Architecture Revit MEP COBie	Estrutura de armazenagem de informações.
Gerenciamento de facilities	Possibilitar uma interface de comunicação com o gerente de facilities e/ou incorporador por meio do gerenciamento de dados acessíveis e integrados ao modelo BIM, além da possibilidade da visualização dos parâmetros em tabelas de formato XML extraídas de forma automatizada.	COBie	Estrutura de armazenagem de informações; Eficiência em tempo; Quantidade de informações obtidas que permite auxiliar o FM.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

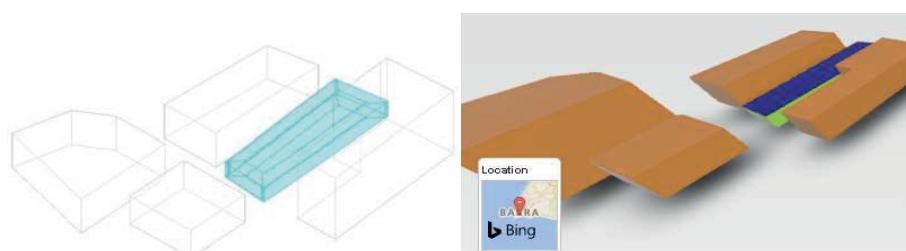
Na etapa de concepção, foram realizadas simulações de eficiência energética em um modelo de energia desenvolvido por meio de modelagem de massa das edificações do entorno e do projeto, localizado no bairro da Barra na cidade de Salvador-BA. Partindo das premissas citadas na metodologia, foram identificadas as informações acerca dos objetos e componentes de instalações elétricas que deveriam estar contidas no modelo BIM para FM. Foi definido o que seria necessário ser modelado de acordo com informações (i) utilizáveis na etapa de gerenciamento de facilities e que (ii) tivessem relação com o critério estabelecido para obtenção da certificação ambiental.

De acordo com Mota (2017), com o objetivo de apresentar um modelo as-built BIM para O&M e registrar informações relativas aos usos de operação do modelo, é necessário criar novas propriedades e inserir informações aos objetos contidos no modelo quando o uso para gerenciamento de facilities não for pensado desde a etapa de concepção. Dessa forma, foram definidas as propriedades de tipo e instância que deveriam ser preenchidas ou criadas para o modelo de acordo com as principais propriedades dos objetos definidas pela norma britânica BS 8210:2012 (Guide to facilities maintenance management): (i) registro; (ii) número de identificação; (iii) localização; (iv) expectativa de vida útil; (v) modelo; (vi) fabricante; (vii) data de instalação; (viii) custo inicial; (ix) consumo de energia; (x) ciclo de substituição.

Nessa etapa também foram consideradas as diretrizes da NBR 5.410:2004, que estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, com o objetivo de garantir o funcionamento adequado das instalações e garantir a segurança das pessoas e do patrimônio (ABNT, 2004). Assim, ficou definida a instalação de 4 luminárias tubulares no Salão de Festas, 1 spot

em cada banheiro e 1 luminária tubular na copa, além disso, cada cômodo dispõe de 1 sensor de presença.

Após as definições de premissas de projeto, passou-se para as simulações de eficiência energética. O Insight utiliza o georreferenciamento, buscando a captação de propriedades locais por meio de imagem retirada do Google Earth, pelo qual é possível captar as coordenadas geográficas locais, medidas de altura das edificações do entorno, imagem da rua via satélite e referência de nível. A imagem é então exportada para o Revit por um ajuste de escala. A partir dessa integração, é possível modelar os componentes básicos da edificação e analisar os fatores externos que influenciam o comportamento da edificação, como sombras e efeito do vento, buscando desenvolver um modelo mais eficiente. A figura 2 apresenta a modelagem de massa do modelo analisado pelo Insight e as condições do entorno.



**Figura 2 - Modelo de energia utilizando o conceito de massa e condições de entorno. Revit Architecture à esquerda e Insight à direita produzidos durante simulação**

De maneira geral, os fatores que podem ser analisados pelo Insight são: (i) iluminação; (ii) orientação da construção; (iii) sistema HVAC; (iv) painel fotovoltaico: análise da superfície adequada e payback; (v) controle luz x ocupação (uso de sensores, janelas automáticas, painéis etc.); (vi) energia de carga dos equipamentos e horário de funcionamento por tipo de edificação (residencial ou comercial); (vii) escolha dos vidros das janelas e (viii) custo da edificação por m<sup>2</sup> antes e depois do estudo.

Durante a etapa de simulação, foi analisado o parâmetro da iluminação, cujas variáveis analisadas foram: (i) tipo de lâmpada utilizada no projeto (comum, fluorescente ou LED) considerando sua (ii) durabilidade; (iii) consumo; (iv) economia; (v) emissão de calor; (vi) sustentabilidade e eficiência; (vii) gasto de watts/m<sup>2</sup> da lâmpada utilizada em projeto; (viii) índice de luminância nas áreas analisadas e (ix) payback, por meio da comparação da redução de custo por m<sup>2</sup> por ano na escolha da lâmpada. Observou-se que o uso de lâmpadas de LED no lugar de lâmpadas convencionais representa grande parte da redução de consumo de energia elétrica no projeto e o retorno de payback. Os resultados foram tratados considerando os valores comerciais como custo da lâmpada LED e custo da energia elétrica na cidade de Salvador e são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Parâmetros de utilização de 7 lâmpadas LED de 48w (5000 lm) em projeto em comparação à lâmpada fluorescente equivalente**

Parâmetro	LED
Watts economizados/h	364 W = 0, 364 kW
kWh economizados/ano com a substituição das lâmpadas	1325 kWh
Redução no custo de energia/ano por kW economizado	R\$ 477
Produção reduzida de CO2 /ano	1,13ton
Payback	1,1 anos



No que tange ao armazenamento de informações, o Insight possibilita a importação de dados de georreferenciamento para o software Revit e a exportação dessas informações para a nuvem, facilitando assim a tomada de decisões pela equipe de projeto. Sobre a análise do consumo energético, foi possível executar estudos comparativos de acordo com a escolha do tipo de lâmpada a ser utilizada no projeto, buscando, assim, definir o projeto ótimo com base na busca pela certificação ambiental. No que se refere à quantidade de dados relevantes (Insight), a extensão permite um estudo executado virtualmente por meio da plataforma Autodesk 360, que configura em média 5 opções sustentáveis para cada um dos 8 fatores de análise supracitados, possibilitando 40 simulações.

A partir da finalização da etapa de concepção de projeto, iniciou-se a etapa de modelagem com a utilização do software de modelagem Revit Architecture para componentes arquitetônicos e MEP para instalações elétricas, que podem ser visualizados na Figura 3.

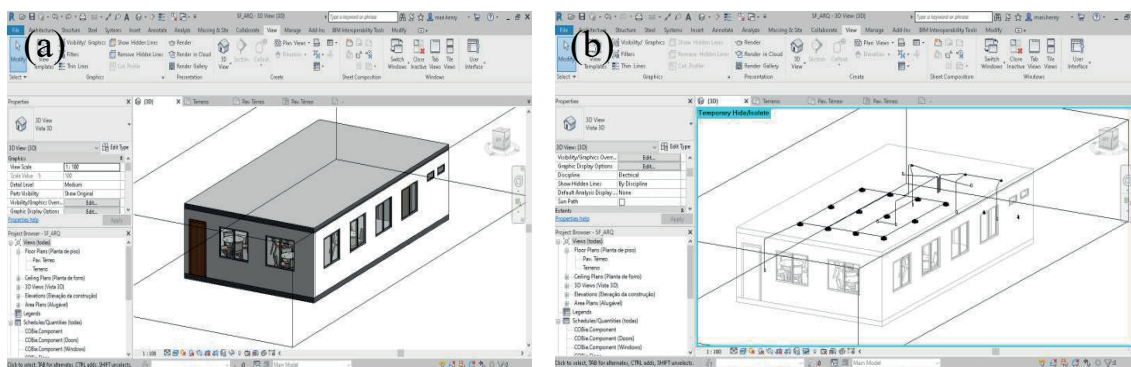


Figura 3 - Modelo Revit Architecture (a) e MEP (b) produzido durante simulação

As informações referentes aos quantitativos dos objetos modelados estão compiladas na figura 4 extraída de tabelas de quantitativos da ferramenta BIM utilizada para modelagem (Autodesk Revit).

<Tabela de luminárias>		
A	B	C
Contador	Familia	Tipo
1	GH1960	GH1960
1	GH1960	GH1960
1	Lighting-LED-LSI_Ini	Refer to Catalog
1	Lighting-LED-LSI_Ini	Refer to Catalog
1	Lighting-LED-LSI_Ini	Refer to Catalog
1	Lighting-LED-LSI_Ini	Refer to Catalog
1	Lighting-LED-LSI_Ini	Refer to Catalog
Total geral: 7		

<Tabela de dispositivo de comunicação>		
A	B	C
Contador	Familia	Tipo
1	Electrical_Controls_ABB_Light-Level-Sensors	LF-U2.1
1	Electrical_Controls_ABB_Light-Level-Sensors	LF-U2.1
1	Electrical_Controls_ABB_Light-Level-Sensors	LF-U2.1
1	Electrical_Controls_ABB_Light-Level-Sensors	LF-U2.1
Total geral: 4		

Figura 4 - Tabelas de quantitativos

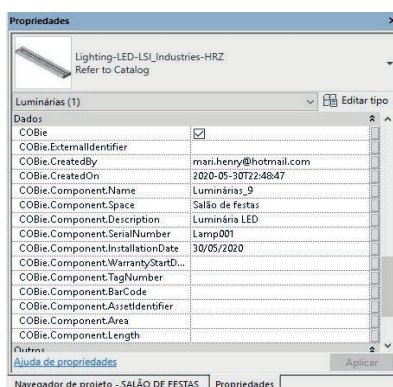
Após a identificação dos objetos, foi feita uma análise das suas propriedades relacionadas em BS 8.210:2012 (BSI, 2012) e definidas no processo de concepção. O objetivo dessa análise foi caracterizar os parâmetros dos objetos em termos de propriedades, preenchidas, não preenchidas ou inexistentes. Nessa etapa, a utilização do padrão COBie se mostrou um facilitador, uma vez que o padrão possui elementos em consonância à normatização. O objetivo do uso do padrão é identificar as informações necessárias e agentes responsáveis durante o processo de projeto, visando ao uso do COBie (MOTA, 2017).

Relacionando os critérios da etapa de concepção em termos da norma BS 8.210:2012, observou-se que, das 10 propriedades analisadas, seria necessário inserir 7 informações de tipo (70%) em propriedades existentes nas 3 famílias utilizadas e criar 1 nova propriedade de tipo (10%) em 4 famílias. Das propriedades analisadas, observou-se que 2 (20%) já haviam sido preenchidas pelo fabricante do objeto. Na figura 5, são demonstradas algumas propriedades do padrão COBie que foram preenchidas a partir de sua configuração por meio do plugin Autodesk COBie Extension for Revit suportado pela building SMART alliance.

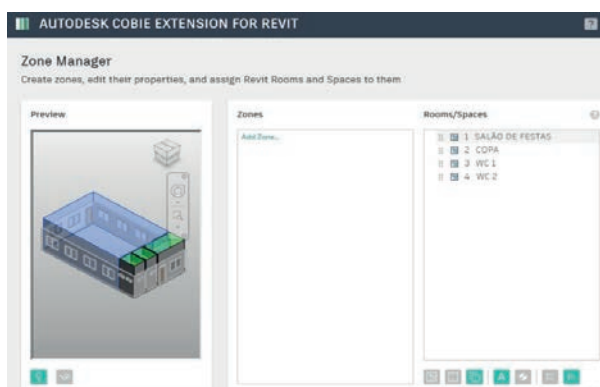
Para a **etapa de gerenciamento de facilities**, observa-se que, de acordo com o (NIBS, 2013) , o COBie é uma padrão internacional de troca de informação que gerencia as informações capturadas nas etapas de concepção e construção, gerando entregáveis ao gestor de facilidades na etapa de operação. Como se trata de uma padronização, o COBie pode estar presente em software de projeto, construção e manutenção, bem como em planilhas eletrônicas. Os dados estruturados por meio do COBie podem ser inseridos em soluções FM do mercado, a exemplo do Archibus, facilitando a atuação dos gerentes de facilites a estratégia de manutenção dos ativos. Além disso, o plugin para o Revit proporciona a criação de zonas, observando, assim, a potencialidade do padrão para o gerenciamento de ativos e espaços, como pode ser observado na figura 6.

Sobre armazenagem de informações, o uso do COBie proporcionou uma gestão de facilities assertiva da edificação, com planos de operação e manutenção. Devido ao seu formato aberto, os dados COBie podem ser manipulados por softwares de O&M ou por plataformas em formato XML. Quanto à eficiência em tempo, percebeu-se que não há necessidade de custos adicionais para servir-se das potencialidades do COBie, uma vez que a classificação e cadastro de dados complementares pode ser feito nos softwares automaticamente e esses dados irão auxiliar a etapa de uso e operação (East e Carrasquillo-Mangual, 2013).

Dessa forma, percebe-se o potencial de uso do padrão COBie no gerenciamento de ativos energéticos, que podem vir a ser úteis para a validação e manutenção da certificação ambiental IPTU Verde, uma vez que os dados relacionados ao padrão tornam mais ágil o processo de busca por informações técnicas dos objetos.



**Figura 5 – Propriedades COBie preenchidas após configuração**



**Figura 6 – Definição de ambientes a partir do plugin Autodesk COBie extension for Revit**

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram identificar: (i) aplicabilidade da proposta, com o potencial do uso das ferramentas adotadas, já que estas fornecem uma estrutura de armazenagem de informações que se comunicam com todas as etapas discutidas; (ii) relevância da proposta, com a comprovação da eficiência do Insight na concepção de projeto para análise comparativa da economia de energia elétrica com a adoção das boas práticas sugeridas pela certificação ambiental; (iii) capacidade de apoio à tomada de decisões, com a quantidade de informações que o COBie fornece, buscando auxiliar o setor de FM, a exemplo da planilha de componentes que possui informações relevantes como dados de garantia e data de instalação.

A proposta, em especial, destaca-se pelo potencial em apoiar decisões para obtenção de certificações ambientais e em criar indicadores para apoiar o processo de manutenção de certificações já obtidas. Destaca-se que o processo, uma vez implementado na dinâmica real de projetos de edificações, pode contribuir para a oferta de empreendimentos mais sustentáveis e eficientes ao mercado e à sociedade.

Como estudos futuros, propõe-se a realização de pesquisa com base em Design Science Research (DSR) para o desenvolvimento de um produto para o comissionamento energético e gerenciamento de facilities de ativos, do espaço, da informação e de operação e manutenção de edifícios utilizando o padrão COBie, além da utilização de recursos Dynamo para criação de rotinas e seu uso para critérios de certificação ambiental IPTU Verde e a integração BIM e IOT, buscando o monitoramento ao longo do tempo e análise de novos indicadores.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.410:2004**. Instalações elétricas de baixa tensão – Procedimentos. ABNT: Rio de Janeiro, 2004. 209 p.

BRANDÃO F.P.; MACHADO F.A.; TELES, R.P. **Análise comparativa do processo de extração do padrão COBie entre ferramentas BIM de projeto**. In: XX CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL. Buenos Aires: SIGraDi, 2016.

BSI STANDARDS PUBLICATION. **BS 8210:2012**. Guide to facilities maintenance management. 2 ed. British Standard: England, 2012. 38 p.

CIC Research Program. **BIM Planning Guide for Facility Owners**. Version 2.0, the Pennsylvania State University. Pennsylvania, 2013. Disponível em: [https://www.bim.psu.edu/owners\\_guide/](https://www.bim.psu.edu/owners_guide/). Acesso em: 01 fev 2020.

AUTODESK. **COBie Version 7.1.7159.0**, 2019a. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learnexplore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/COBie-Toolkit-for-Revit.html>. Acesso em: 5 mar 2020.

AUTODESK **Insight 360. Version 4040**, 2019b. Disponível em: <https://insight360.autodesk.com/oneenergy>. Acesso em: 20 out 2019.

INTERNATIONAL FACILITY MANAGEMENT ASSOCIATION (IFMA). **FM Glossary**, 2015.  
Disponível em: <http://community.ifma.org/fmpedia/w/fmpedia/facilitiesmanagement>.  
Acesso em: 01 fev 2020.

EAST, B.; CARRASQUILLO-MANGUAL, M. **The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard**, 2013. Disponível em [https://www.bimpedia.eu/static/nodes/1010/COBie\\_Guide\\_-\\_Public\\_Release\\_3.pdf](https://www.bimpedia.eu/static/nodes/1010/COBie_Guide_-_Public_Release_3.pdf). Acesso em: 10 fev 2020.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

GOULART, S. **Sustentabilidade nas edificações e no espaço urbano**. Apostila (Disciplina de Desempenho Térmico das Edificações). Florianópolis: UFSC, 2008.

KASSEM, M.; KELLY, G.; DAWOOD, N.; SERGINSON, M.; LOCKLEY, S. BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. **Built Environment Project and Asset Management**, v.5, n.3, p.261-277, 2015.

KIVINIEMI, A.; CODINHOTO, R. Challenges in the Implementation of BIM for FM Case Manchester Town Hall Complex. In: **Computing in Civil and Building Engineering**. Orlando: CCBE, 2014.p.665-672

MOREIRA, L.C.S.; RUSHEL, R.C. Impacto da adoção de BIM em Facility Management: uma classificação. **Inovação tecnológica na construção civil**, v. 6 n. 4, 2015.

MOTA, P.P. **Modelo BIM para gestão de ativos**. UNICAMP, 2017  
National Institute of Building Sciences (NIBS). **COBie Challenge for Facility Management**, 2013.  
Disponível em: [https://www.nibs.org/page/bsa\\_ccfms13?&hhsearchterms=%22iwms%22](https://www.nibs.org/page/bsa_ccfms13?&hhsearchterms=%22iwms%22). Acesso em: 20 fev 2020.

TELES, R. P. **Sistema de alocação de espaços para a FAUFBA**: Uma aplicação de Facilities Management. PPGAU, UFBA, 2016.

TEICHOLZ, Paul (Ed.). **BIM for Facility Managers**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.  
WINES, J. **Green Architecture**. Milan: Taschen, 2000.

# SMART TRACKING 3D – SISTEMA DE MONITORAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DO BIM, IOT E RFID

*Aluno:* Caio Mendes

*Orientador:* Emerson de Andrade Marques Ferreira

## RESUMO

Historicamente na construção civil, principalmente quando se refere à indústria de pré-fabricados, existe a necessidade de um monitoramento ainda mais detalhado, buscando mitigar as incertezas e atrasos envolvidos durante as etapas de produção, transporte e montagem. No entanto, nos últimos anos, um maior interesse em implementar sistemas sincronizados tem surgido por parte dessa indústria, utilizando a integração de tecnologias para obter melhores resultados. Diante desses desafios, tecnologias associadas à Indústria 4.0 como IoT, computação em nuvem e RFID têm sido aplicadas em conjunto com o BIM. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema integrando essas tecnologias para apoio à gestão de processos logísticos em sistemas pré-fabricados de concreto, denominado Smart Tracking 3D. O método utilizado neste estudo é o Design Science Research e abrange as seguintes fases: conscientização da problemática por meio de revisão da literatura; sugestão do artefato por meio de um estudo exploratório em três empresas de pré-fabricados de concreto e testes com software e hardware; desenvolvimento do sistema a partir de estudos experimentais em laboratório e em campo; avaliação do sistema por meio dos testes realizados em campo e da experiência dos usuários; conclusão do trabalho com a sintetização dos aprendizados. Como principais resultados, o sistema desenvolvido possibilitou o rastreamento e registro do status de cada elemento em diferentes momentos, acompanhamento das etapas de inspeção da qualidade, registro dos processos de montagem, além de auxiliar na comunicação e sincronização de dados. As avaliações apresentaram resultados positivos em relação ao funcionamento do sistema e à sua utilidade e transparência. Conclui-se que o sistema possui potencial para apoio à gestão de processos logísticos em sistemas pré-fabricados de concreto.

**Palavras-chave:** BIM. IoT. RFID. Sistemas pré-fabricados de concreto. Gestão de processos logísticos.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da Construção Civil é um setor que possui elevado grau de incertezas e imprecisões em seus dados, e isso se deve à grande quantidade de informações compreendidas nesse gerenciamento (BORTOLINI, 2015). Tendo isso em vista, o ambiente de trabalho se torna complexo, considerando a interdependência entre as partes envolvidas. Diante desse contexto, o gerenciamento logístico



da cadeia de suprimentos é visto como uma área geralmente problemática, ocasionando fragmentações, descontinuidades e heterogeneidades nos processos (NIU et al., 2017).

Giunipero e Brand(1996)ainda ressaltam que, no contexto da cadeia de suprimentos, o gerenciamento logístico pode ser determinado como o planejamento e controle do fluxo de informações e materiais do ponto de origem ao destino final. Dessa forma, para o gerenciamento de projetos de construção, é de fundamental importância obter um bom desempenho nessas atribuições. Além disso, uma das áreas dessa indústria que é bastante afetada por essa realidade são os sistemas pré-fabricados (WANG et al., 2019).

A NBR 9062:2017 define os sistemas pré-fabricados de concreto como elementos executados industrialmente, os quais necessitam de um acompanhamento das etapas de confecção da armadura, as fôrmas, o adensamento e lançamento do concreto, o armazenamento, o transporte e a montagem. Além disso, Peñaloza et al. (2016) descrevem que esse sistema construtivo pode ser caracterizado como sendo Engineer-to-order (ETO), visto que a solicitação do cliente é realizada no início da etapa de concepção dos projetos executivos. Observa-se que o processo de produção dos elementos pré-fabricados, assim como as suas características sistêmicas de confecção, transporte e montagem, apresentam benefícios em relação a qualidade, redução de desperdício, além da rapidez em seu processo construtivo. No entanto, as problemáticas associadas às questões logísticas geram impacto nesse sistema construtivo, gerando assim uma necessidade de melhoria nos aspectos de planejamento e acompanhamento de produção, transporte e montagem.

Tendo em vista os desafios identificados nos elementos pré-fabricados, estudos têm mostrados alternativas, como o uso do BIM, o qual tem possibilitado o aprimoramento em diversas vertentes, como visualização dos processos, estimativa de custo automatizada, redução do tempo de ciclo, redução de erros de coordenação de projeto e melhoria na pré-montagem e pré-fabricação dos elementos (EASTMAN, et al. 2014). Outro ponto relevante que tem estimulado o crescimento e o desenvolvimento da construção civil, tem sido os conceitos associados à Indústria 4.0, conhecida como a quarta revolução industrial (Maskuriy et al., 2014). Dentre as tecnologias presentes nessa revolução, estudos mostram que a integração da IoT, Computação em Nuvem e RFID associadas aos sistemas pré-fabricados de Concreto trazem benefícios referentes ao rastreamento automatizado (Ikonen et al, 2013.)

Nesse processo de integração, a IoT possibilita a interconexão de máquinas e dispositivos por meio da Internet, permitindo a criação de dados que podem gerar percepções analíticas e dar suporte a diferentes operações (NORD, j. H; KOOHANG, A.; PALISZKIEWICZ, J. 2019). Além disso, essa rede de conexões também habilita a comunicação entre as pessoas e esses dispositivos, também chamados de objetos ou coisas (WAN et al., 2011; LASI et al., 2014; MULLER; VOIGT, 2018). Segundo os Atzori, Iera e Morabito (2010), a aplicação das etiquetas de RFID pode ser considerada como um dos caminhos-chaves para a implantação da IoT, servindo para identificação e rastreamento de objetos. Por meio da utilização do BIM e da tecnologia RFID, é possível aprimorar os processos de visualização e rastreabilidade, dessa forma, o BIM atuará como uma interface de suporte para as informações atualizadas em tempo real dos objetos (XUE et al., 2018).

Assim, é possível observar que a construção civil tem notado a necessidade de melhorias no processo de comunicação entre as áreas de gerenciamento, buscando desenvolver ferramentas que auxiliem

no rastreamento de recursos físicos e registro dessas atividades. Nesse sentido, o tema proposto torna-se relevante uma vez que a integração das tecnologias BIM, IoT, computação em nuvem e RFID para o apoio à gestão de processos logísticos em sistemas pré-fabricados de concreto pode ser considerada como uma alternativa para a melhoria dos processos, buscando atender às necessidades do setor.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O BIM é considerado uma plataforma de entrada para o desenvolvimento de aplicações expressivas na indústria da construção civil, fornecendo uma estrutura de dados que possibilita a interação e colaboração em tempo real ao decorrer do seu ciclo de vida do projeto (MASKURIY, et al, 2019).

Tang et al. (2019) descrevem que a capacidade de relacionar as fontes de dados do BIM juntamente com a IoT é uma aplicação relativamente nova. De forma geral, os autores ressaltam que os dados individualizados do BIM e IoT fornecem visualizações deficientes em alguns aspectos do projeto, no entanto, quando juntas, cada uma consegue suprir a limitação da outra. Ainda nos estudos desenvolvidos por Tang et al. (2019), estes constataram que, a partir da integração dessas tecnologias, diferentes áreas puderam ser beneficiadas, como operação e monitoramento da construção, gestão de saúde e segurança, logística e gestão da construção e o gerenciamento de instalações.

O estudo realizado por Xu, He e Li (2014) apresenta a infraestrutura da IoT organizada em camadas, utilizando uma Arquitetura Orientada a Serviço (Service Oriented Architecture - SOA) para categorizar as tecnologias essenciais empregadas. Nessa estrutura, as camadas são atribuídas para determinar a função de cada grupo e propor uma relação entre elas. Além disso, essa arquitetura é fundamentada a partir da observação das tecnologias utilizadas, necessidades de negócios e requisitos técnicos, como apresentado no Quadro 1 (XU; HE; LI, 2014).

**Quadro 1. Arquitetura de quatro camadas para a IoT**

CAMADAS	DESCRIÇÃO
Camada de Interface	Essa camada fornece métodos de interação para usuários e outros aplicativos.
Camada de Serviço	Essa camada cria e gerencia serviços. Ela fornece serviços para satisfazer as necessidades do usuário.
Camada de Rede	Essa camada fornece suporte básico à rede e transferência de dados em rede sem fio ou com fio.
Camada de Sensoriamento	Essa camada é integrada ao hardware existente (RFID, sensores, atuadores etc.) para detectar / controlar o mundo físico e adquirir dados.

**Fonte:** Adaptado de, Xu, He e Li (2014)

Segundo os estudos realizados por Reyna, Leal e Alabazares (2018), estes relatam que o principal requisito da IoT é que os sensores, atuadores, etiquetas, dentre outros estejam interconectados na rede, permitindo uma ponte entre o mundo físico e o mundo virtual.

Nesse sentido, Quingerski (2019) explica que a comunicação estabelecida entre essas camadas é realizada por meio de diferentes protocolos e que essa troca de dados pode acontecer através de redes cabeadas, sem fio ou ambas. O referido autor cita como exemplo os protocolos: "TCP/IP, UDP, Satélite, Wi-Fi, Ethernet e telefonia (3G, 4G), CoAP, MQTT, IPv6, 6LoWPAN, HTTP, ZigBee, CAN, Bluetooth, RFID, NFC, entre outros (QUINGERSKI, 2019, p. 102). Conforme Dolgui e Proth (2008), o RFID pode ser entendido como uma tecnologia sem fio que possibilita a identificação remota automatizada de objetos. Os referidos autores descrevem que os principais componentes de um sistema RFID é composto por etiquetas incorporadas ou anexadas a qualquer tipo de objeto (produtos, ferramentas, animais, mercadorias, ser humano etc.) e leitores especializados que leem por meio de antenas as informações armazenadas nas etiquetas e as transferem para um dispositivo de processamento (um computador, por exemplo) (WANT, 2006; COUTO; MALAFAIA, 2019).

Ainda no contexto dessa integração tecnológica, Coutinho, Carneiro e Greve (2016) ressaltam que a aplicação das potencialidades da computação em nuvem no contexto da Internet das Coisas torna possível o desenvolvimento de novos meios de resolução de problemas, além de apresentar um ambiente atrativo que possibilita o desenvolvimento de serviços em larga escala.

Apesar de já existirem pesquisas nacionais e internacionais sobre o tema proposto, percebe-se que ainda existem campos a serem aprimorados no âmbito da integração do BIM, IoT e RFID nos sistemas pré-fabricados de concreto, sendo identificados, dentre outras opções, a continuidade do acompanhamento dos elementos na fase de pós-ocupação, buscando constatar as contribuições para a manutenção das estruturas pré-fabricadas (LIMA, FERREIRA e CALMON, 2020). Os trabalhos realizados (QI, CHEN e COSTIN (2018); MAO et al. 2018; LIMA, FERREIRA e CALMON, 2020) ainda destacam a carência de estudos de caráter práticos, seja em campo ou protótipo, abordando mais detalhes dos sistemas desenvolvidos, assim como os equipamentos utilizados.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi utilizado o método de pesquisa Design Science Research (DSR). Esse método foi escolhido devido à sua capacidade de orientar a construção do conhecimento e de possibilitar o aperfeiçoamento de diversas disciplinas associadas ao domínio gerencial e tecnológico da ciência da informação (BAX, 2014). Lacerda, Dresch e Antunes (2013) trazem nos seus estudos uma série de procedimentos que servem como guia para o desenvolvimento de pesquisas, apresentando as etapas de conscientização, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão, como passos do processo desse método. Vale ressaltar que o escopo do presente artigo se concentra na apresentação das principais etapas do desenvolvimento e avaliação do sistema proposto, além de apresentar a estrutura do sistema, denominado Smart Tracking 3D.

Para este estudo, o artefato pode ser entendido como um sistema composto por um leitor RFID, um aplicativo mobile e uma plataforma web que realizou a integração do BIM e IoT com o uso de RFID para a gestão de processos logísticos, buscando potencializar a comunicação entre os setores, o processo de inspeção da qualidade e o registro da montagem dos elementos pré-fabricados de concreto.

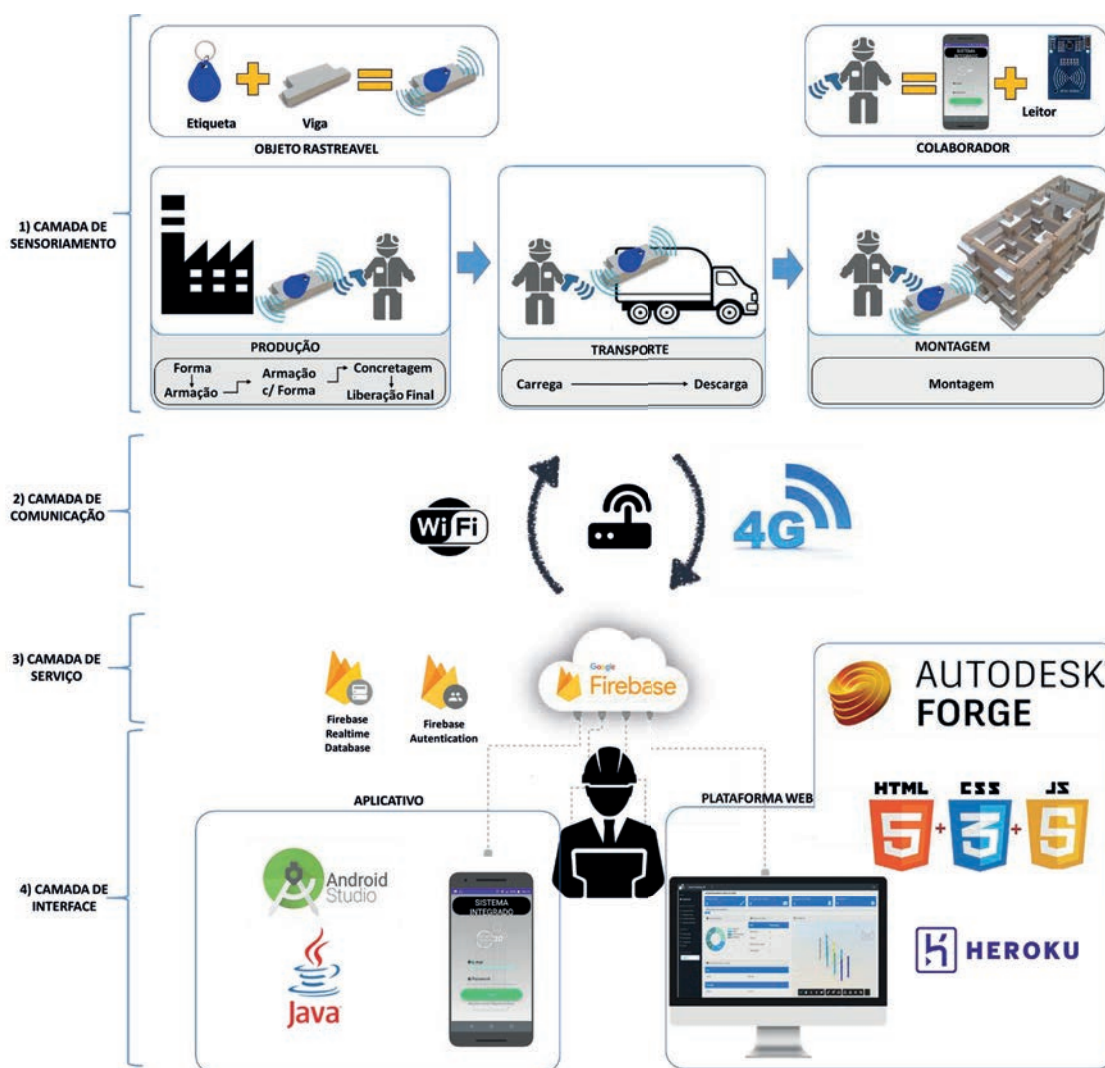
### 3.1 Fase de Conscientização

A fase de conscientização auxiliou no processo utilizado para evidenciar a situação da integração entre o BIM, IoT e pré-fabricados, os problemas existentes, as lacunas do conhecimento, assim como identificação das ferramentas tecnológicas utilizadas nos trabalhos encontrados. Maiores detalhes dessa etapa podem ser encontrados no estudo de Lima, Ferreira e Calmon (2020).

### 3.2 Fase de Sugestão

Essa fase tem caráter exploratório e foi realizada com três empresas de pré-fabricado de Concreto. O estudo foi realizado por meio de entrevistas on-line e visitas em campo, as quais possibilitaram a identificação das principais informações utilizadas para o acompanhamento logístico pelos setores de produção, transporte e montagem; o mapeamento do fluxo dos processos logísticos das empresas pesquisadas; e a identificação dos principais desafios para a realização da gestão logística. Nessa etapa também foram realizados testes com as ferramentas tecnológicas identificadas, assim como a elaboração da representação preliminar do sistema, conforme Figura 1.

Figura 1. Representação preliminar do sistema em quatro camadas



Fonte: Autor.



A representação preliminar do artefato procurou estruturar as ferramentas tecnológicas utilizadas para o desenvolvimento do sistema, além de estabelecer uma relação com as informações coletadas sobre a gestão logística. Essa representação foi desenvolvida por meio de um fluxo esquemático (Figura 1), buscando estruturar as funcionalidades das tecnologias utilizadas, tendo como base a arquitetura de quatro camadas da IoT proposta por Xu e Li (2014).

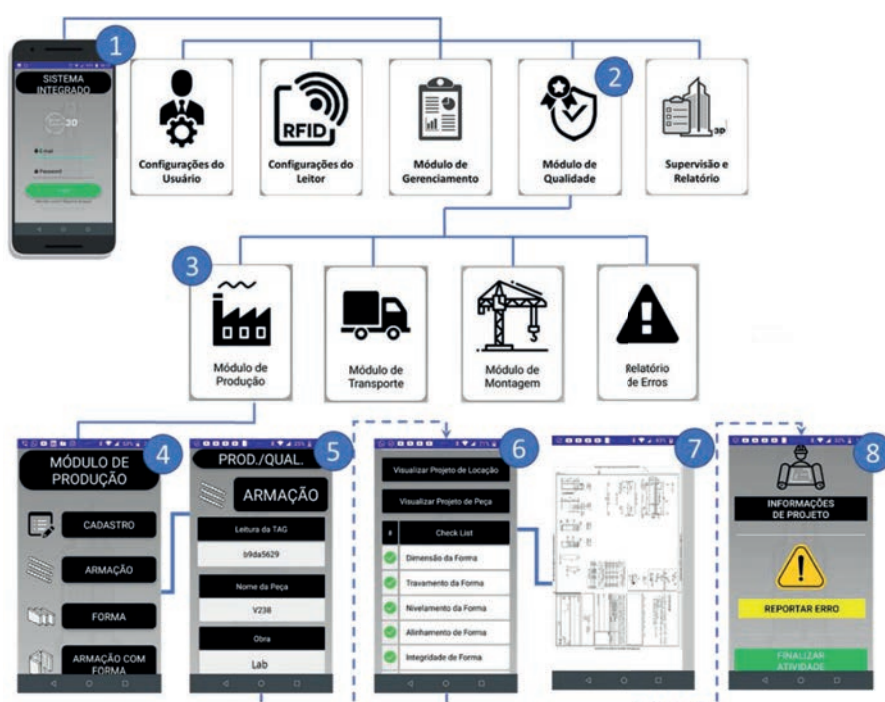
### 3.3 Fase de Desenvolvimento

A fase de desenvolvimento do artefato foi realizada em duas etapas. A primeira foi destinada à estruturação do sistema, buscando definir os requisitos e a construção do protótipo em sua versão para teste. A segunda procurou realizar estudos práticos em laboratório e em campo, os quais geraram relatórios de inspeção e montagem, além das especificações do sistema.

- Estruturação e funcionalidades do sistema (APP)

O aplicativo foi estruturado em 5 módulos, conforme Figura 2, sendo utilizado o módulo da Qualidade para o processo de rastreamento das peças.

Figura 2. Procedimentos para a inspeção da qualidade por meio do aplicativo



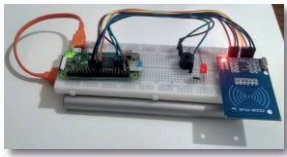
Fonte: Autor.

Dentre os módulos desenvolvidos, o módulo da qualidade possui a função de registrar o processo de inspeção de cada etapa que envolve a produção, o transporte e a montagem das peças pré-fabricadas. Essa função consiste na leitura das etiquetas fixadas nas peças e, em seguida, o preenchimento de uma lista de verificação da etapa em questão, assim como o registro de observações e não conformidades identificadas pelo usuário. Além disso, esse módulo proporciona o acesso aos registros de não conformidades, possibilitando assim a sua correção. Cabe destacar que a atividade exercida por esse módulo é responsável pela notificação da mudança de status das peças, possibilitando o sistema acompanhar cada passo executado.



Posteriormente foi elaborado a estrutura física do equipamento de leitura RFID, sendo utilizados os equipamentos de prototipagem, os quais realizaram as funções apresentadas no Quadro 2. Outro equipamento utilizado foi a bateria externa de 10.000MAh, a qual foi utilizada para alimentar o equipamento durante as etapas de testes e durante os estudos práticos.

**Quadro 2. Componentes e funcionalidades do equipamento de Leitura RFID**

Equipamento	Hardware	Funcionalidade
	Led	Sinalizar início de leitura da etiqueta.
	Buzzer	Sinalizar que leitura da etiqueta foi realizada.
	Sensor RC522	Leitura de RFID.
	Raspberry Pi Zero W	Estabelecer conexão com dispositivo mobile via Bluetooth; Gerenciar as rotinas.

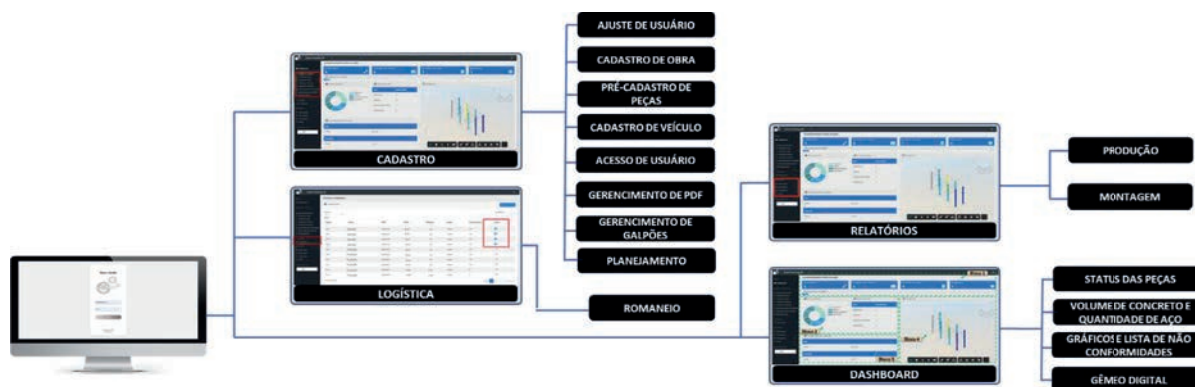
Fonte: Autor.

Após os testes realizados com os equipamentos de prototipagem, novos testes utilizando o leitor comercial “modelo I300 UHF” e as etiquetas “NanoX II” foram realizados para a verificação da capacidade de leitura da etiqueta dentro do concreto.

#### - Estruturação da plataforma web

A estruturação da plataforma web buscou apresentar uma interface organizada que proporcionasse aplicações voltadas para cadastro e lançamento de dados, assim como a visualização de dados específicos de acompanhamento e registro das peças pré-fabricadas de concreto, conforme a Figura 3.

**Figura 3. Estruturação da plataforma web**



Fonte: Autor.

Dentre os módulos desenvolvidos, o painel central (Dashboard) possui funções relevantes para o sistema, uma vez que busca apresentar uma visão geral, simples e transparente do gerenciamento logístico da estrutura pré-fabricada. Para isso, foram desenvolvidas funcionalidades abrangendo as informações sobre o status atual das peças, volume de concreto utilizado, quantidade de aço utilizado, gráfico e lista de não conformidades, acompanhamento da montagem e acesso ao Gêmeo Digital (modelo BIM do empreendimento na web), que apresenta funções específicas para o rastreamento das estruturas.

### 3.4 Fase de Avaliação

Levando em consideração os constructos Funcionalidade, Utilidade e Transparência, foram elaborados questionários abrangendo variáveis com base nas características do sistema. Essas variáveis auxiliaram na construção das fontes de evidência, direcionando os itens a serem observados.

Em vista disso, foram criados 2 tipos de questionário para a avaliação, destinados à equipe de inspeção da qualidade e à equipe de planejamento. As perguntas elaboradas para cada equipe buscaram abordar os aspectos do sistema de forma geral, assim como as funcionalidades específicas voltadas para a área de atuação dos respondentes, sendo estas baseadas na Escala Likert. Os colaboradores do setor da qualidade que participaram dessa etapa foram três estagiários e uma Auxiliar da Qualidade, descritos nesta pesquisa como EP01 (Estagiário de Produção), EQ01 e EQ02 (Estagiários da Qualidade) e ENGQ01 (Engenheira da Qualidade). Os colaboradores do setor de planejamento que participaram dessa etapa foram dois Engenheiros civis e uma auxiliar técnica, caracterizados neste trabalho como ENGP01 e ENGP02 (Engenheiros de planejamento) e AP (Auxiliar de planejamento).

### 3.5 Fase de Conclusão

A etapa de conclusão corresponde à síntese e divulgação dos principais aprendizados durante o desenvolvimento deste estudo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A respeito das contribuições do Gêmeo Digital, foi possível constatar que a identificação do status das peças por meio das cores possibilitou um melhor entendimento, principalmente das peças em estoque em obra, representadas na figura pela cor verde. A Figura 4 mostra que o Gêmeo digital permitiu, dentre outras possibilidades, a visualização das peças possíveis de serem montadas em determinado dia, uma vez que as peças em estoque em obra são sinalizadas no modelo, além da informação sobre as peças já montadas e as prontas para serem enviadas pela fábrica.

**Figura 4. Gêmeo Digital correspondendo à montagem no canteiro de obra**



Fonte: Autor.

Nesse sentido, observa-se que as aplicações realizadas no estudo experimental e no estudo de campo contribuíram para o desenvolvimento do sistema, possibilitando a evolução das funcionalidades propostas. O Quadro 3 apresenta as funções do sistema e o seu grau de desenvolvimento em cada

estudo. Consta-se que a versão utilizada no estudo experimental apresentou pendências a serem resolvidas, enquanto no estudo de campo, o sistema foi utilizado em sua versão mais completa.

**Quadro 3. Componentes e funcionalidades do equipamento de Leitura RFID**

Etapa	Quantidade de itens avaliados	Desenvolvimento do sistema (%)	
		Estudo em laboratório	Estudo de campo
WEBSITE	17	65%	100%
APP	06	67%	100%
LEITOR	2	50%	100%

Fonte: Autor.

Após os testes realizados em campo, foram avaliados inicialmente os aspectos funcionais do sistema, os quais apresentaram desempenho satisfatório em sua grande maioria, obtendo um índice de 96% de aprovação (Quadro 4). Por se tratar de um protótipo, pontos como a capacidade de leitura do equipamento impactaram na redução de 4% no índice apresentado. No entanto, esse desafio foi vencido após os testes realizados com o leitor e etiquetas UHF (equipamentos comerciais), os quais apresentaram resultados satisfatórios mesmo após a concretagem da etiqueta dentro do elemento de concreto (Figura 5).

**Quadro 4. Resultado geral da avaliação do sistema**

Constructo	Variáveis	Entrevistados	Índice de aprovação
Transparência	4	7	96%
Utilidade	5	7	94%
Funcionalidade	23	Pesquisador	96%

Fonte: Autor.

**Figura 5. Etapas de utilização das etiquetas UHF**



a) Fixação



b) Concretagem



c) Leitura



d) Leitura

Fonte: Autor.

Em continuidade, o sistema foi avaliado por colaboradores dos setores de produção, qualidade e planejamento, buscando avaliar com base na percepção dos usuários a utilidade e a transparência. Notou-se que a avaliação referente à utilidade obteve um índice de aprovação de 94%, sendo destacado como diferencial a possibilidade do sistema em realizar registros fotográficos das não conformidades e o acompanhamento do status das peças por meio de cores no Gêmeo Digital. A avaliação quanto à transparência do sistema obteve um índice de aprovação de 96%, mostrando que as informações fornecidas pelo sistema foram transmitidas de forma clara, contribuindo para uma comunicação eficaz entre as partes envolvidas. Dessa forma, foi possível constatar que o sistema apresentou resultados positivos em todos os itens verificados, demonstrando a sua capacidade para realização das atividades propostas.

## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como principal objetivo propor um sistema para integração do BIM e IoT com o uso de RFID para apoio à gestão de processos logísticos em sistemas pré-fabricados de concreto. O desenvolvimento e avaliação do sistema Smart Tracking 3D foi realizado, dentre outras etapas, por meio de estudos exploratórios e testes em campo, mostrando a sua capacidade operacional em situações reais.

Os resultados mostraram que as empresas entrevistadas reconheceram o potencial do sistema, tendo em vista as atividades de inspeção da qualidade, acompanhamento e monitoramento logístico das peças, assim como uma melhor comunicação entre as partes envolvidas. Foi constatado que a equipe do setor de planejamento considerou a capacidade do modelo BIM de exibir o status real das peças como uma função de excelente utilidade, uma vez que esse rastreamento é feito de forma manual.

Foram identificadas também oportunidades de melhoria nos aspectos voltados aos equipamentos utilizados, aperfeiçoamento de funções, assim como a implementação de novos módulos para o sistema; investigação da possibilidade de integração do sistema desenvolvido com outros softwares de gestão e adaptação aos diferentes níveis organizacionais e características das empresas.

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017

BAX, P. M. **Design Science: Filosofia da Pesquisa em Ciência da Informação e Tecnologia. Ciência da Informação**. V. 42, n. 2, p. 298-312, 2014.

BORTOLINI, R. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM-4D**. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de AYRES FILHO, C. et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GIUNIPERO, L. C.; BRAND, R. R. Purchasing's Role in Supply Chain Management", **The International Journal of Logistics Management**, v. 7, p. 29 – 38, 1996.

IKONEN, J.; KNUTAS, A.; HÄMÄLÄINEN, H.; IHONEN, M.; PORRAS, J.; KALLONEN, T. Use of embedded rfid tags in concrete element supply chains. **Electronic Journal of Inf. Technology in Construction**. ISSN 1874-4753, 2013.



LIMA, Caio Mendes; FERREIRA, Emerson A. M; CALMON, João Luiz. Integração de BIM e IoT usando RFID em elementos pré-fabricados: lacunas do conhecimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

MASKURIY R.; SELAMAT, A.; ALI, K. N.; MARESOVA, P.; KREJCAR, O. Industry 4.0 for the Construction Industry-How Ready Is the Industry? **Applied Sciences**, p. 1-26, Abril, 2014.

PEÑALOZA, G. A.; VIANA, D. D.; BATAGLIN, F. S.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES I. R. Guidelines for integrated production control in engineer-to-order prefabricated concrete building systems: preliminary results. **Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction**. Boston, MA, USA, sect.6 p. 103-112, 2016.

QI, B.; CHEN, K.; COSTIN, A. RFID and BIM-Enabled Prefabricated Component Management System in Prefabricated Housing Production. **Const. Research Congress**. p. 591-601, 2018.

QUINGERSKI, L. **KE-IoT: Uma proposta de modelo baseado em conhecimento para ambientes de internet das coisas (IoT)**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – PPEG-UFSC, Florianópolis, 2019.

TANG, S., SHELDEN, D. R.; EASTMAN, C. M.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Autom. in Const.** v.101, p. 127-139, 2019.

WAN, J.; YAN, H.; SUO, H.; LI, F. Advances in Cyber-Physical Systems Research. *KSII transactions on internet and inf. systems*. v. 5, No. 11, november 2011.

WANT, R. An introduction to RFID technology. **IEEE Pervasive Comp.**, p. 25-33, 2006.

XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of Things in Industries: A Survey. **IEEE Transactions on industrial informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014.

XUE, F.; CHEN, K.; LU, W.; NIU, Y.; HUANG, G. Q. Linking radio-frequency identification to Building Information Modeling: Status quo, development trajectory and guidelines for practitioners. **Autom. in Const.** v.93, p.241-251, 2018.



# TECNOLOGIA LIDAR DE MAPEAMENTO 3D PARA A OTIMIZAÇÃO DE PROJETOS E PROCESSOS DE FACHADAS INDUSTRIALIZADAS EM ACM

*Aluna:* Samara Queiroz dos Santos  
*Orientador:* Moisés Ferreira Eleutério Silva

## RESUMO

Com um forte impulsionamento dos últimos anos da industrialização dos processos na construção civil, a busca por alternativas de sistemas de fachadas não aderidas tem crescido no exterior, principalmente no Brasil. O fato decorre não só do aumento significativo de evidências de manifestações patológicas em revestimentos argamassados mas também na improdutividade e no desperdício gerado nos canteiros de obra. Nessa perspectiva, o uso de fachadas com revestimento em alumínio composto (ACM) tem demonstrado grande aceitabilidade em obras devido a uma maior flexibilidade construtiva, redução de perdas, leveza na estrutura, facilidade de manutenção, sobretudo, um design arquitetônico mais versátil. Por outro lado, entre os principais fornecedores encontram-se ainda desafios na etapa de medição “in situ”, cuja aquisição de informações precede de métodos de coleta manual, aumentando o grau de incerteza/erros aos valores registrados e armazenados. Dessa forma, o presente artigo apresenta a utilização de uma nova tecnologia de mapeamento 3D, mais especificamente, a Light Detection And Ranging – LIDAR, no intuito de promover agilidade e precisão na coleta dos dados na elaboração do projeto executivo de fachadas em ACM, consequentemente reduzindo retrabalhos e desperdícios materiais e financeiros. Os resultados demonstraram que o uso da tecnologia permitiu aumentar em até 70% a produtividade e a precisão do projeto executivo, além de reduzir em 15% a taxa de perda na manufatura do ACM dentro da etapa de processamento dos painéis modulares.

**Palavras-chave:** Sistemas Industrializados, Alumínio Composto (ACM), Fachadas não aderidas, Mapeamento 3D.

## 1. INTRODUÇÃO

O levantamento cadastral ou medição de uma edificação pode ser realizado utilizando diferentes métodos e ferramentas, desde os métodos diretos, a exemplo de réguas, trenas e níveis, passando pelos métodos topográficos com a utilização de estação total e GNSS (Sistema de Satélite de Navegação Global), até os métodos mais sofisticados tecnologicamente, que geram seus resultados em um produto digital, a exemplo do mapeamento 3D. Este último se trata de uma tecnologia que cria visualizações tridimensionais dos objetos a partir da utilização de sensores ópticos. Esses sensores podem ser classificados como passivos, os quais utilizam os dados provenientes da captura de imagem de câmeras digitais de alta resolução, método conhecido como fotogrametria; ou ativos, que utilizam dados de alcance, com predominância da digitalização através do laser scanner, a exemplo da tecnologia Light Detection And Ranging – LIDAR.

Segundo Álvares (2016), tanto a fotogrametria quanto o laser scanner podem gerar nuvem de pontos que englobam coordenadas dos pontos da superfície da construção quanto do seu entorno (BRAUN et al., 2015), e cada um desses métodos possui vantagens e desvantagens específicas em relação à precisão do produto, portabilidade, nível de complexidade de operação, requisitos de processamento e manipulação dos dados e seus respectivos custos, (2016, p.21 apud BEMIS et al., 2014; DEZEN-KEMPTER et al., 2015; REMONDINO, 2011).

A utilização da tecnologia LIDAR, embora recente, ainda tem sido limitada para a identificação de patologias em fachadas aderidas associada ao controle tecnológico da argamassa (ISRAEL e PILEGGI, 2016.), geração de imagens arquitetônicas (DEUS, 2017) e monitoramento do avanço físico de obras (ÁLVARES, 2016), por exemplo. Em relação às fachadas, o trabalho desenvolvido por Becker e Halla (2007) destaca uma contribuição importante na combinação de imagens terrestres em algoritmos de georreferenciamento com os dados extraídos do LIDAR para reconstrução e refinamento geométrico de parte do edifício.

Entretanto, não foram identificados estudos relativos ao uso da tecnologia para a avaliação do tempo de execução e projeto e benefícios gerados no ciclo de produção e instalação de painéis industrializados em edificações. Nesse sentido, foi encontrada uma entrevista dada para a "Lidar News", em agosto de 2021, de um serviço executado pela "TruePoint Laser Scanning", que utilizou o laser scanner 3D para acelerar a instalação dos painéis ACM em um aeroporto recém-construído no bairro de Queens, New York, apresentando uma percepção empírica dos resultados gerados.

De acordo com Nate Baker, gerente regional do Nordeste da "TruePoint", o principal desafio encarado pelo cliente era que "os planos de construção não correspondiam às condições existentes no local, ou seja, um desvio poderia causar grandes problemas. O processo de instalação precisava ser planejado com precisão para evitar retrabalho". Além disso, a arquitetura da edificação era complexa e estava à 20 metros de altura do nível do chão.

Ainda segundo a empresa, após realizado o mapeamento, foi obtido um resultado preciso do as-built capaz de eliminar suposições inconsistentes sobre os dados do projeto. Como produto técnico foi gerado um modelo 3D no Revit, desenvolvido a partir da nuvem de pontos capturada, como também, um desenho 2D, a partir do modelo tridimensional, gerando um documento esquemático de execução que foi levado para o campo.

A partir do contexto exposto, torna-se oportuno investigar os benefícios do uso dessa tecnologia para fachadas não aderidas e como pode ser implementado para aumento da produtividade nos canteiros de obra durante a elaboração do projeto executivo como também no aumento da qualidade da informação.

Portanto, o estudo em questão visa avaliar os benefícios gerados pelo mapeamento 3D no contexto dos projetos e processos de manufatura e de instalação de fachadas em ACM para edificações. Para a execução do estudo, foi escolhida a tecnologia de laser scanner porque as câmeras, enquanto dispositivos de aquisição de dados, têm a desvantagem de uma menor precisão geométrica em comparação com as nuvens de pontos de varredura a laser (BRAUN, et al, 2015). Além disso, o custo das câmeras em comparação ao do equipamento de escaneamento a laser se mostraram próximos e, ao realizar a análise custo-benefício, optou-se pelo mapeamento a laser.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os lasers scanners, especialmente os sistemas de pulso de laser com medição do tempo de propagação e retorno (no qual se enquadra a tecnologia de escaneamento a laser LIDAR), são sistemas que captam diretamente a geometria 3D da superfície, gerando nuvens de pontos com o registro da coordenada 3D de cada ponto conforme é realizada a varredura da área de interesse (REMONDINO, 2011; MELO JÚNIOR, 2016). Eisenbeiß (2009) relata que a captura dos pontos funciona por meio da reflexão difusa do pulso de laser na direção da superfície de interesse. Esse processo permite calcular a distância entre o sensor e a superfície mapeada, por meio da medição do tempo desse processo (propagação e retorno) e da velocidade do pulso. Como resultado, tem-se uma nuvem de pontos coordenada tridimensionalmente.

Entre as principais vantagens desses sistemas de varredura a laser para o mapeamento 3D de superfícies e objetos por meio da geração de nuvem de pontos pode ser destacada sua boa precisão no levantamento, tanto de formas complexas e irregulares como para superfícies lisas e homogêneas, a velocidade na captura de grande quantidade de informação e a obtenção direta da nuvem de pontos (GROETELAARS; AMORIM, 2012). Além disso, a nuvem de pontos cria uma dependência tecnológica, a qual, conforme apresentado por Huhnt (2005), serve de apoio aos processos na detecção de possíveis erros e se apresenta neste estudo no momento de integração entre os dados reais que se encontram em campo e o ambiente digital (BRAUN et al, 2015) como também promove que os processos seguintes ocorram de forma digitalizada.

As aplicações existentes no mercado da construção civil para essa tecnologia abrangem diferentes vertentes. Remondino (2011), por exemplo, tem como foco do seu estudo a documentação de construções históricas, e recomenda a utilização do LIDAR – e de outros tipos de laser scanners – por ter resultado de boa acurácia para a geração de Modelos Digitais de Superfície (DSM – Digital Surface Models). Paralelamente, Braun et al. (2015) destacam o emprego do laser scanner para o monitoramento 3D de estruturas e construções pela captura de dados do estado as-built, os quais são comparados no formato de nuvem de pontos, após realizado o processamento, com o modelo de construção planejado. Segundo Braun et al. (2015), as informações de processo e espaciais ajudam a melhorar os algoritmos de detecção de divergências.

## 3. MÉTODO DE PESQUISA

### 3.1 Equipamento Laser Scanner

O ZEB Horizon (ver Figura 1) é o equipamento laser scanner portátil da GeoSLAM, sendo considerado o mais versátil e produtivo do mercado pela CPE Tecnologia, empresa locadora do equipamento para este estudo. O equipamento conta com alta taxa de medição de 300 mil pontos por segundo, precisão de até 6 mm e oferece a capacidade de realizar medições em ambientes tanto interno quanto externos, enquanto o operador caminha pelas áreas a serem medidas, permitindo flexibilidade de utilização em diversas aplicações. O equipamento executa o registro automático das varreduras, com alcance de até 100 metros, tempo de duração da bateria de 3h30min e consta com grau de proteção IP54 (proteção limitada contra a entrada de pó e resíduos e protegido de spray de água de qualquer direção). Outra vantagem de utilização desse equipamento é que, por ser feito para possibilitar o caminhar do operador, possui design robusto para garantir firmeza, no entanto, é leve.

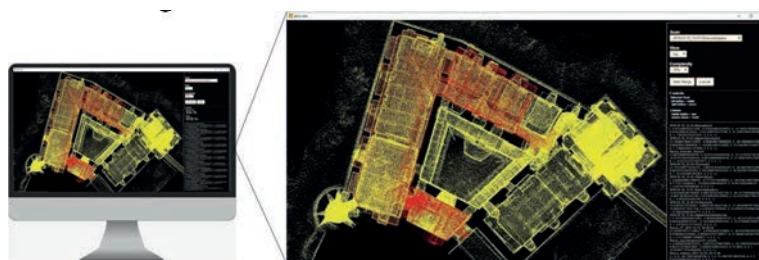
Figura 1 – Equipamento laser scanner completo com todos os componentes



Fonte: GeoSLAM – ZEB-HORIZON User Manual v1.3(2020).

Após a leitura dos dados, é no GeoHUB (nome abreviado do software) que é feita a sobreposição e georreferenciamento das nuvens, caso seja necessário (ver Figura 2). Esse procedimento é feito quando são realizadas mais de 1 varredura do local de interesse, com tempo máximo de leitura permitido, cada uma, de 10 minutos.

Figura 2 – Interface do GeoSLAM Hub



Fonte: Adaptado de Chiabrando et al. (2019).

Após finalizado esses procedimentos, a nuvem estará pronta para ser exportada nos formatos LAS, LAZ, PRI, TXT e E57. No caso deste projeto, a exportação foi no formato LAS para que fosse aceito e importado pelo software de otimização da nuvem de pontos, excluindo-se os pontos dos elementos julgados não necessários. Após finalizada essa etapa, o arquivo é salvo em formato rcp e importado para o software de modelagem 3D para dar início à elaboração do projeto executivo.

### 3.2 Estudos de Caso

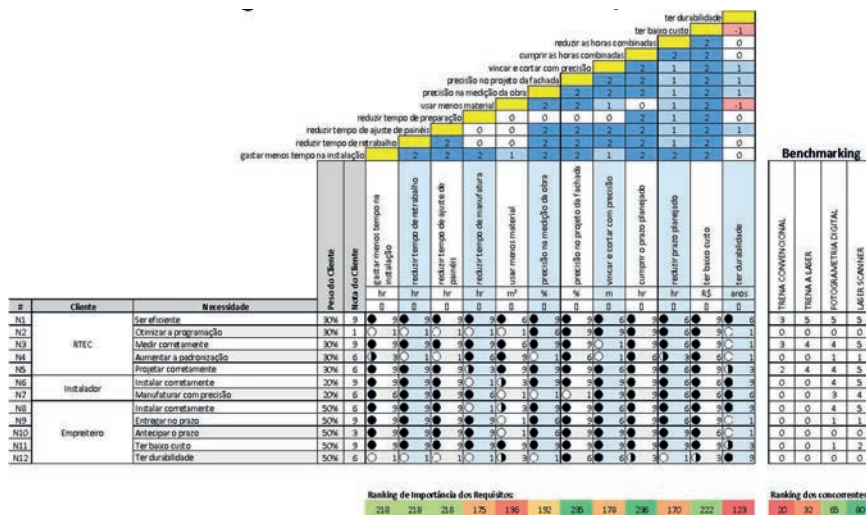
Esse estudo teve 2 momentos de aplicação e teste prático em parceria com a “RTEC – Tecnologia em Revestimentos”, empresa especialista em revestimento de fachadas metálicas, com foco em ACM e brises, para a qual o projeto foi desenvolvido, que tem enraizada em sua cultura e como principal diferencial no mercado a industrialização dos processos.

Em conjunto com a empresa, ainda na fase de planejamento do estudo, foi elaborado um QFD (Quality Function Deployment – Desdobramento da Função Qualidade), apresentado no Gráfico 1, a partir do qual foram definidas as principais necessidades da empresa e identificados os requisitos atendidos pela solução proposta pela tecnologia LIDAR, que subsidiaram a definição das rotas de pesquisa aplicada envolvendo a versão alfa e beta, sendo (1) a versão beta, em menor escala, dentro



da fábrica do cliente, com o intuito de aprender o manuseio do equipamento e identificar possíveis gargalos no processo durante a execução, e (2) a versão alfa, a versão definitiva do teste, envolvendo as soluções desenvolvidas para os problemas identificados na versão beta, além de já ter aperfeiçoado o know-how necessário da manipulação do equipamento LIDAR e dos softwares envolvidos, alcançando produtividade mais próxima do real, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Resultado final do QFD



Fonte: A autora.

Quadro 1 – Apresentação comparativa das versões beta e alfa do estudo

Fases	Descrição	Imagens
Beta β	<p><b>Data:</b> 07 de junho de 2021  <b>Local:</b> Instalações da fábrica do cliente deste projeto com 70 m².  <b>Objetivo:</b> Ambientação com a tecnologia, aplicação de questionários e a visualização prática de mapeamento 3D com a obtenção, exportação e tratamento dos dados.</p>	
Alfa α	<p><b>Data:</b> 20 de setembro de 2021  <b>Local:</b> Edificação industrial de substrato metálico treliçado com aproximadamente 150 m² de área a ser revestida.  <b>Objetivo:</b> Realizar o mapeamento da fachada, com base nas lições aprendidas e o know-how adquirido da versão beta, e, considerando o monitoramento integral dos indicadores de produtividade.</p>	

Fonte: A autora.

Na versão beta, a estrutura mapeada possuía substrato de concreto maciço e denso, sua fachada tinha área de espelho frontal equivalente a 70 m<sup>2</sup>, incluindo os vãos abertos das janelas e portas, e o mapeamento foi realizado pelo instrutor do equipamento; enquanto, na versão alfa, a estrutura se trata de um treliçado metálico, o qual estava sobreposto pelos andaimes que já estavam montados



para dar início à instalação do revestimento.

Após realizado o mapeamento, o processo se desdobra de forma similar nas duas versões:

- 1º) é feita a otimização da nuvem de pontos, no software adequado, deletando os pontos excedentes, evidenciando apenas a área de interesse para desenvolvimento do projeto;
- 2º) a nuvem é exportada em formato .rcp;
- 3º) a nuvem otimizada é inserida no software de modelagem 3D para dar início ao desenvolvimento do projeto.

Quanto ao último ponto, na versão beta, foi feita a modelagem de todos os elementos da fachada (ancoragens, subestrutura e painéis) incluindo a estrutura principal, enquanto que, na versão alfa, com um maior know-how adquirido da manipulação da nuvem de pontos, não se fez mais necessária a modelagem da estrutura principal; no segundo momento do estudo, foi aproveitada a própria nuvem de pontos como base para modelagem dos elementos da fachada, fato que contribuiu para o ganho de produtividade na etapa de elaboração do projeto executivo entre as duas versões, como pode ser visto no Quadro 2 na próxima seção.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultados Quantitativos

Uma das variáveis avaliadas neste estudo está relacionada ao tempo necessário para o desenvolvimento do projeto executivo, partindo da etapa de medição in loco até a entrega do projeto executivo para as equipes de manufatura. Portanto foi elaborado um quadro comparativo nos dois momentos do estudo relacionando os índices de produtividade no processo tradicional e após a inserção da tecnologia LIDAR, cujo resultado se apresenta no Quadro 2.

*Quadro 2 – Análise comparativa da produtividade de projeto entre a execução do processo tradicional e com a inserção do laser scanner*

CRITÉRIOS	VERSÃO BETA		VERSÃO ALFA	
	Processo Tradicional	Processo c/ o Mapeamento 3D	Processo Tradicional	Processo c/ o Mapeamento 3D
Área (m²):	70,0		147,5	
Tempo de medição em campo (min):	12,7	1,50	40,00	2,00
Tempo de processamento (min):	-	1,05	-	5,50
Tempo total (min):	12,70	2,55	40,00	7,50
Qtd. de pontos (milhões):	-	10	-	27,12
Custo MDO medição (R\$):	R\$ 14,56	R\$ 2,92	R\$ 45,87	R\$ 8,60
Tempo de projeto (h):	44	27	88	27
Custo MDO projeto (R\$):	R\$ 999,68	R\$ 613,44	R\$ 1.999,36	R\$ 613,44
<b>CUSTO TOTAL (R\$):</b>	R\$ 1.014,24	R\$ 616,36	R\$ 2.045,23	R\$ 622,04

\*MDO – Mão de obra

Fonte: A autora.

Observando o Quadro 2, percebe-se que, na versão beta, o tempo de medição em campo passou a ser 4 vezes menor com a inserção da tecnologia no processo, com redução de 88%; enquanto na versão alfa, a redução foi de 98%, a uma velocidade 20 vezes maior. Isso é possível porque o procedimento de leitura pelo laser scanner não varia conforme a complexidade e extensão da construção (até 100 m, de acordo com as especificações do equipamento. No entanto, caso essa distância precise ser ultrapassada, pode ser acoplado um drone para realizar o mapeamento a laser). Ou seja, quanto maior e mais complexa for a edificação, mais vantajosa será a aplicação do laser scanner para levantamento das informações do campo.

O tempo de processamento se refere ao tempo em que, após a leitura, a nuvem de pontos é gerada e estará pronta para exportação no formato desejado, por isso, é aplicável e foi medida apenas no processo de mapeamento 3D. Observa-se que o processamento é proporcional à quantidade de pontos coletados. No processo tradicional, esse critério pode equivaler ao tempo de interpretação dos dados coletados no campo, geralmente representado por um croqui, no processo de comunicação entre o responsável por realizar o levantamento cadastral e o desenvolvedor do projeto. Nesse caso, o tempo e a qualidade da informação podem ser largamente variados conforme a capacidade de leitura de cada indivíduo, enquanto que, utilizando a tecnologia LIDAR, consegue-se alcançar um padrão tanto de informação quanto de tempo para disponibilizá-la.

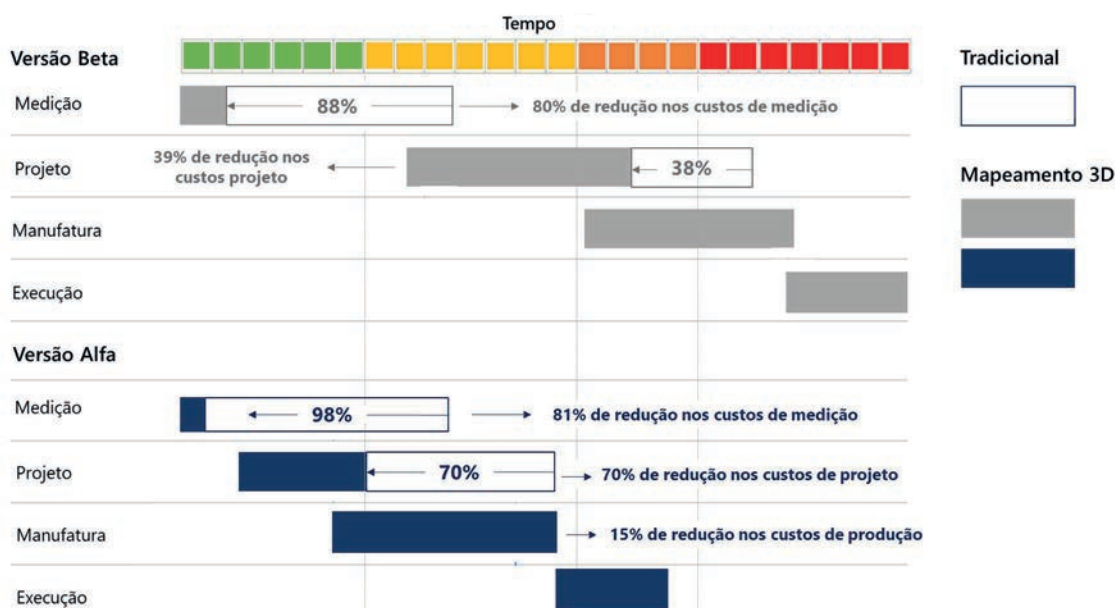
Com a inserção da tecnologia, a medição in loco alcançou média de redução de 86% do tempo necessário em comparação à utilização dos procedimentos comuns. Ainda conforme mostra o Quadro 2, isso gera uma economia de 70% nos custos que envolvem essa atividade.

Quanto ao tempo de desenvolvimento do projeto, existem algumas ressalvas importantes a serem feitas em relação aos resultados alcançados. Esse critério foi o mais influenciado pelas interferências citadas anteriormente como a apropriação do conhecimento técnico dos softwares e as estratégias adotadas em cada versão.

Sendo assim, observa-se que, no processo tradicional, o tempo de elaboração do projeto dobra entre as versões, no entanto, ao avaliar a produtividade de projeto utilizando a tecnologia do laser scanner, o tempo de projeto permanece igual entre as versões, requerendo 27 horas para sua finalização, ainda que o projeto da versão alfa seja 2 vezes maior que o da versão beta. Porém, ao avaliar a taxa de redução com a introdução da tecnologia no processo, nota-se um aumento saindo de 38,6% na versão beta para 69,3% na versão alfa.

Pode-se afirmar que o ganho de produtividade no primeiro momento do estudo já é satisfatório, reduzindo o tempo necessário de projeto em mais de 1/3. Contudo, em um intervalo de 3,5 meses, a experiência adquirida na utilização dos softwares e manipulação da nuvem de pontos tornou possível reduzir o tempo de projeto pouco mais que 2/3 (ver Figura 4).

Figura 4 - Avaliação de redução dos custos e tempo dos projetos e processos entre a etapa tradicional e o mapeamento 3D

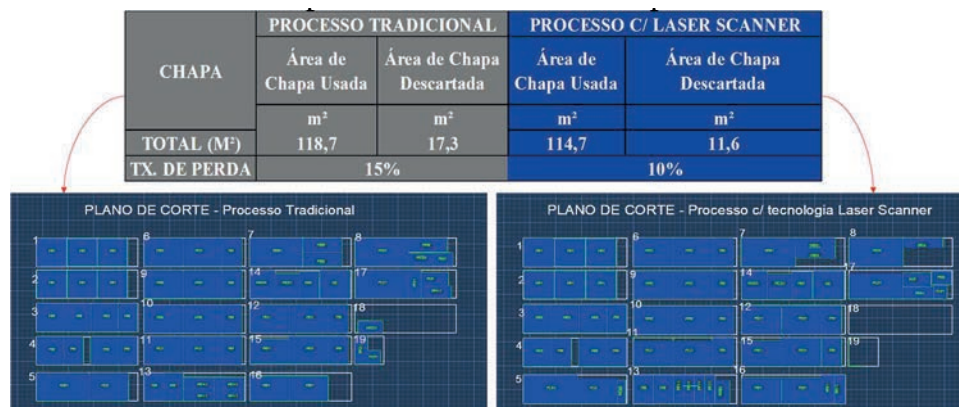


Fonte: A autora.

Esses resultados também são percebidos financeiramente, apresentando economia de 70% do custo do processo total, gerada pela redução do custo das horas da mão de obra dos envolvidos.

Além do projeto, um outro parâmetro avaliado foi a taxa de perda de material, relacionando a quantidade de material necessária para manufatura dos painéis e a quantidade de material descartada. Essa análise foi exclusiva ao material alumínio composto porque, nas fachadas pré-fabricadas em ACM, ele possui maior representatividade produtiva e financeira. Como explicado, após o projeto executivo ser finalizado, é elaborado um plano de corte dos painéis. O plano de corte (ver Figura 5) se trata de um esquemático dispoendo a alocação de cada painel ACM – nas dimensões de bandeja aberta – nas chapas inteiras, as quais possuem as dimensões padrões de 1500 X 5000 mm ou 1250 x 5000 mm.

Figura 5 - Análise comparativa das taxas de perda do alumínio composto (ACM) entre dois cenários de processo: tradicional X mapeamento 3D



Fonte: A autora.

A fim de garantir a qualidade do acabamento da instalação em campo, as peças de arremate são projetadas e manufaturadas com uma folga maior. No processo tradicional, essa margem de erro é de 50 a 100 mm, gerando o plano de corte à esquerda apresentado na Figura 5, sendo necessária a utilização de, aproximadamente, 118 m<sup>2</sup> de chapa para executar o serviço com taxa de perda de 15% do material.

Porém, após a inserção da tecnologia LIDAR, o plano de corte foi replanejado com base nas dimensões obtidas da nova medição, considerando margem de erro de 5 a 10 mm. O novo plano de corte gerado se encontra à direita da Figura 5. Nesse segundo momento, a área de chapa utilizada foi de, aproximadamente, 114 m<sup>2</sup>, com taxa de perda reduzida para 10%.

Sabendo-se que o projeto em questão possui cerca de 150 m<sup>2</sup> e considerando a realidade de operação da RTEC, a otimização para um projeto dessa proporção é de, no máximo, 85%, no processo tradicional, a versão alfa apresentou resultado com otimização máxima do material. Porém, no processo com laser scanner, a otimização chega ao nível máximo para projetos de até 1.000 m<sup>2</sup>, com índice de otimização de 90%.

Dessa forma, foi feita uma projeção média para a otimização do projeto com a inserção da tecnologia LIDAR no processo de manufatura, admitindo-se que esse cenário pode variar conforme a complexidade do projeto e as exigências de peças especiais.

## 5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em destaque traz uma nova instrumentação tecnológica para otimização de projetos e processos por meio do mapeamento 3D de fachadas em ACM. Embora ainda pouco explorado no campo científico, o uso do LIDAR tem demonstrado importantes contribuições para aquisição, tratamento e análise de dados mais ágeis e com maior grau de precisão. No campo de fachadas, objeto deste artigo, percebeu-se que, embora haja um acréscimo no custo do aluguel do equipamento, houve um aumento significativo da produtividade (redução de horas de execução) dentro do ciclo global que envolve as etapas de medição e elaboração do projeto de fachadas em ACM. Outro fator relevante envolveu a etapa de processo associada à manufatura dos painéis, na qual evidenciou-se a redução da taxa de perda do material de 15% devido à acurácia e precisão proporcionada pela tecnologia. Portanto, conclui-se que o uso do mapeamento 3D com o LIDAR pode se tornar um ativo integrante dentro dos processos de implantação dos sistemas industrializados de fachadas e, conseqüentemente, gerar mitigação de falhas e custos inerentes associados às etapas de execução do ACM.

## 6. REFERÊNCIAS

ÁLVARES, J. S. **Mapeamento 3D de canteiros via imagens coletadas com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2016. 156 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

ÁLVARES, J. S. **Monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamentos 3D de canteiros por VANT e modelos BIM 4D**. 2019. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

BIM – LEARNING CENTER. **Perfect-Fit Aluminum Cladding with 3D Laser Scanning**. Disponível em: <https://bimlearningcenter.com/perfect-fit-aluminum-cladding-3d-laser-scanning/>. Acesso em: 20 jun 2021.

BECKER, S. HAALA, N. Combined feature extraction for façade reconstruction. In: **Proceedings of the ISPRS Workshop Laser Scanning**. p. 241-247. 2007.

BORODINECS, A.; ZEMITIS, J.; DOBELIS, M.; KALINKA, M.; PROZUMENTS, A.; STEINERTE, K. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning. **Modular retrofitting solution of buildings based on 3D scanning**. China, p. 160-166, 2017.

BRAUN, A.; TUTTAS, S.; BORRMANN, A.; STILLA, U. ITcon – Journal of Information Technology in Construction. **A concept for automated construction progress monitoring using bim-based geometric constraints and photogrammetric point clouds**. v. 20, p. 68-79, 2015.

CEI MATERIALS – INVENTIVE FACADE SOLUTIONS. **SHOP TALK: How 3D Laser Scanning Technology Assists The Construction Process**. Disponível em: [https://www.ceicomposites.com/news/SHOP-TALK-How-3D-Laser-Scanning-Technology-Assists-The-Construction-Process-\\_AE43.html](https://www.ceicomposites.com/news/SHOP-TALK-How-3D-Laser-Scanning-Technology-Assists-The-Construction-Process-_AE43.html). Acesso em: 6 jun 2021.

CHENG, L.; TONG, L.; CHEN, Y.; ZHANG, W.; SHAN, J.; LIU, Y.; LI, M. Integration of LiDAR data and optical multi-view images for 3D reconstruction of building roofs. **Optics and Lasers in Engineering**. v. 51, p. 493-502, 2013.

DEUS, B. R. B. S. **Mapeamento 3D com drone para suporte ao BIM aplicado a Arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A. V. **Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113-124, 2015.

EISENBEIB, H. **UAV Photogrammetry**. Zurich: Institut für Geodäsie und Photogrammetrie – Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2009.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. 2015. 372 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

HAMMOUDI, K.; DORNAIKA, F.; SOHEILIAN, B.; VALLET, B.; MCDONALD, J.; PAPRODITIS, N. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012. **Recovering occlusion-free textured 3D maps of urban facades by a synergistic use of terrestrial images, 3D point clouds and area-based information**. p. 971-980, 2012.

ISRAEL, M. C.; PILEGGI, R. G. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. **Uso do escaneamento 3D laser para análise de planicidade e volumetria de argamassa em fachadas**. v. 9, n. 1, p. 91-122, 2016.



LIDAR NEWS – Home of the LiDAR Industry. **3D Laser Scanning Expedites Installation of ACM Panels.** Disponível em: <https://lidarnews.com/articles/3d-laser-scanning-expedites-installation-of-acm-panels/>. Acesso em: 2 dez 2021.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. Ambiente Construído – Revista da ANTAC. **A indústria da construção na era da informação.** Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, 2003.

REMONDINO, F. **Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning.** Remote Sens, v. 3, p. 1104-1138, 2011.

REMONDINO, F.; BARAZZETTI, L.; NEX, F.; SCAIONI, M.; SARAZZI, D. **UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – Current status and future perspectives.** International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38., 2011, Zurich. Proceedings... Zurich: ISPRS, 2011. p. 25-31.

SIEBERT, S; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, v.41, p. 1-14, 2014.



ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS  
DO MERCADO IMOBILIÁRIO DA BAHIA

***PRESIDENTE***

Cláudio Cunha

***1º VICE-PRESIDENTE***

Marcos Dias Lins Melo

***2º VICE-PRESIDENTE***

Pedro Oliveira Mendonça

***DIRETOR ADMINISTRATIVO-FINANCEIRO***

Marcos Nogueira Vieira Lima

***DIRETOR TÉCNICO***

Daniel Sampaio

***DIRETOR DE HABITAÇÃO***

Eduardo Lazaro Freire Villa Nova

***DIRETOR DE NORMAS E LEGISLAÇÃO***

André Luiz Duarte Teixeira

***DIRETOR DE ASSUNTOS AMBIENTAIS E GESTÃO  
SUSTENTÁVEL***

Rafael Cardoso Valente

***DIRETOR DE EXPANSÃO DE MERCADOS***

Luciano Correa Carneiro

***DIRETORA COMERCIAL E DE MARKETING***

Viviane de Brito Oliveira da Fonseca

***CONSELHO DIRETOR***

Adriano Guerreiro e Segura

Alceu Hiltner Filho

Arthur Prisco Paraíso Rêgo

Bruno Carneiro Félix

Eugênio de Souza Mendes

Gustavo Gesteira Mattos

Ivan de Freitas Leão

Jorge Goldenstein

Luiz Fernando Pedreira Larangeira

Nelson Trief

Reynaldo Jorge Calmon Loureiro

Rodrigo Fernandes Hissa

***CONSELHO CONSULTIVO***

Antonio Carlos Costa Andrade

Eduardo Meirelles Valente

Luciano Muricy Fontes

Luiz Augusto Amoedo Amoedo

Manuel Seabra Suarez

Mario de Paula Guimarães Gordilho

Mário Reis Mendonça

Mário Seabra Suarez

Nilson Sarti da Silva Filho

Paulo Ernesto Lebram

Walter Barretto Jr.





**ADEMI** BAHIA

ASSOCIAÇÃO DE DIRIGENTES DE EMPRESAS  
DO MERCADO IMOBILIÁRIO DA BAHIA

+55 71 3273-8130 | contato@ademi-ba.com.br

[www.ademi-ba.com.br](http://www.ademi-ba.com.br)

Rua Alceu Amoroso Lima, 470 - Sala 901

Empresarial Niemeyer - Caminho das Árvores - Salvador/BA

ISBN: 978-65-999483-0-5

