

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ABRAÃO DE SOUZA ALVES LUIZ

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO SOBRE O
POTENCIAL DO BIM NA ESTRATÉGIA DE DIGITALIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2021

ABRAÃO DE SOUZA ALVES LUIZ

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO SOBRE O
POTENCIAL DO BIM NA ESTRATÉGIA DE DIGITALIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO**

**Digital transformation in construction: a study on the potential of BIM in digital
strategy in the construction industry**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC2, do curso superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ABRAÃO DE SOUZA ALVES LUIZ

**TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO SOBRE O
POTENCIAL DO BIM NA ESTRATÉGIA DE DIGITALIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado à disciplina de TCC2, do curso
superior de Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel.

Data de aprovação: 13/Dezembro/2021

André Nagalli

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alexandre Erbs

Doutor

Instituto Federal de Santa Catarina

Annelise Nairne Schamne

Mestra

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2021

AGRADECIMENTOS

Sou grato a vida pelas oportunidades que tenho experienciado. Grato ao Departamento de Construção Civil, pela educação de qualidade no curso que estou me graduando. Ao meu orientador, André Nagalli, por me impactar ainda nas disciplinas do curso, antes de ser seu orientando.

Agradeço a minha família por ter sido meu suporte.

RESUMO

A transformação digital e a modernização são imperativos para a indústria da construção civil na abordagem dos paradigmas de produtividade e de impacto ambiental. A Implementação de um processo de transformação digital alinhado ao BIM e a tecnologias de tendência pode trazer ganhos em eficiência. Essa pesquisa teve como objetivo a construção de um *framework* de transformação digital orientado a ações a partir da construção de um referencial teórico do BIM, do conceito de transformação digital e de *frameworks* conceituais propostos pela literatura. Como resultado, desenvolve-se um *framework* que estabelecesse um processo de implementação em etapas, facilitando a execução de uma transformação digital bem-sucedida. A pesquisa também indica que devido ao baixo nível de digitalização do setor, empresas que investirem numa estratégia digital terão potencial vantagem competitiva.

Palavras-chave: BIM. Transformação Digital. Digitalização. Tecnologia. Produtividade.

ABSTRACT

Digital transformation and modernization are imperative for the construction industry in addressing productivity and environmental impact paradigms. The implementation of a digital transformation process aligned with BIM and trend technologies can bring efficiency gains. This research aimed to build an action-oriented digital transformation framework based on the construction of a theoretical framework for BIM, the concept of digital transformation and conceptual frameworks proposed in the literature. As a result, a framework was developed that established a phased implementation process, facilitating the execution of a successful digital transformation. The research also indicates that due to the low level of digitization in the sector, companies that invest in a digital strategy will have a potential competitive advantage.

Keywords: BIM. Digital Transformation. Digitization. Technology. Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da Pesquisa.....	16
Figura 2 - Processo de troca de informações no CAD e no BIM.....	18
Figura 3 - Interesse na palavra-chave "Transformação Digital" ao longo do tempo..	24
Figura 4 - Nuvem de pontos coletada	30
Figura 5 - Indústria da construção entre os setores menos digitalizados.....	34
Figura 6 - Aplicação de tecnologias modernas ao longo da cadeia de valor da construção.....	35
Figura 7 - Framework de transformação Digital	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões do BIM	21
-----------------------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	16
2 DESENVOLVIMENTO	17
2.1 BUILDING INFORMATION MODELING	17
2.2 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL	24
2.3 ECOSSISTEMA DE TECNOLOGIAS	27
2.3.1 Big data e Analytics	27
2.3.2 Realidade Virtual.....	28
2.3.3 Realidade Aumentada	28
2.3.4 Computação em Nuvem	29
2.3.5 Impressão 3D.....	29
2.3.6 Laser Scanning	30
2.3.7 Drones	31
2.3.8 Tecnologia Blockchain	31
2.4 IMPLEMENTAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL	32
3 DISCUSSÕES	34
4 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil acumula ao longo dos anos uma série de tendências tecnológicas que embora estejam sendo cada vez mais desenvolvidas e implementadas, ainda não apontou para uma transformação substancial em torno da modernização do setor. Este cenário ocorre, pois, as empresas ainda sentem dificuldade para adotar novas tecnologias e se adaptar a tendências inovadoras. Diferente do que ocorre em outros mercados, a natureza essencialmente artesanal da construção civil no Brasil contribui para uma baixa produtividade, alto potencial de poluição e baixa eficiência em custos do setor.

O problema da baixa performance na construção civil é observável globalmente, embora seja mais crítico em países subdesenvolvidos (ALMEIDA et al, 2021). Devido à importância que o setor tem nas economias nacionais, tal problema não afeta apenas a indústria em si, gerando também impactos sociais. As consequências da baixa eficiência incluem litígios entre partes interessadas, aumento do custo, redução do lucro, entregas de baixa qualidade, quebra do prazo definido para entrega e até mesmo encerramento do empreendimento (AKOGBE; FENG; ZHOU, 2013; DOLAGE; PATHMARAJAH, 2015; ULLAH et al., 2018). A Indústria da construção representa cerca de 13% do PIB Mundial, entretanto, cresceu em produtividade apenas 1% nos últimos 20 anos. Estima-se \$1,6 trilhões de dólares em valor agregado, apenas com aumento de produtividade, atendendo metade das necessidades do setor de infraestrutura mundial (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2017).

Ao longo das duas últimas décadas foi observado um crescimento no número de pesquisas globais sobre o impacto ambiental da construção civil, envolvendo métodos de gerenciamento de resíduos, legislações, análise de riscos e tecnologias de reuso e reciclagem (OSMANI, 2013). Uma previsão feita na Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas de 1977, afirmava que se os padrões da época não mudassem, a expansão do ambiente construído iria destruir (ou perturbar) os habitats naturais e a vida selvagem em mais de 70% da superfície terrestre até o ano de 2032 (UNEP, 1994).

Com a crescente preocupação em relação à preservação do meio ambiente, busca-se alternativas no modelo de produção do setor que possa ser menos degradante e mais eficiente. Uma vez que, de forma geral, a construção civil

representa um setor com grande contribuição na poluição, sendo que maior parte de seus processos são manuais e centrados no canteiro de obras e, seus resíduos são potencialmente degradantes ao meio ambiente, acarretando problemas logísticos e financeiros, a gestão e minimização dos resíduos gerados manifesta-se como um fator vital para qualquer proposta de construção que pretenda incorporar-se num modelo de produção sustentável (NAGALLI, 2014). Pesquisas nacionais apontam que a participação percentual dos resíduos de construção civil (RCC) no total de resíduos sólidos gerados em grandes cidades gira em torno de 41 a 70% (MORAIS, 2006), evidenciando uma alta contribuição dos RCC no total gerado de resíduos sólidos. Pesquisas mais recentes fora do país afirmam uma participação semelhante (DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS, 2018).

Refletindo as demandas pela modernização da construção civil, nota-se a presença de imperativos para a indústria, sendo alguns deles: a eficiência (em produtividade, em planejamento e em gestão de custos) e a sustentabilidade (ambiental, econômica e sociocultural). Visando responder a esses imperativos, estudos afirmam que a modernização e digitalização da construção civil através de tecnologias modernas podem prover melhor assertividade, previsibilidade, precisão, transparência e capacidade de utilização de dados em todas o ciclo de vida dos empreendimentos, trazendo redução na quantidade de resíduos gerados em todo o ciclo de vida do empreendimento, bem como ganhos em relação a eficiência e segurança. (BECERIK-GERBER, RICE, 2010; DAVE et al., 2013; MAHALINGAM et al., 2015).

Ao longo dos últimos anos, o conceito da Modelagem da Informação da Construção (BIM) tem sido disseminado na indústria da construção civil, tendo como premissa a construção de um modelo digital do edifício que possa ser compartilhado pelas diferentes frentes do projeto, sendo alimentado por dados de diferentes categorias e atualizado de forma colaborativa e instantânea (CARVALHO; BRAGANÇA; MATEUS, 2019). Pesquisas apontam que a implementação do BIM reduz esforços no *design* de tarefas orientadas para a produção; permite *design* mais enxuto de projetos técnicos dos empreendimentos; contribui diretamente para a redução de resíduos; fornece análise de eficiência energética; promove melhores performances na gestão e execução de projetos e facilita um planejamento colaborativo (SINGH et al., 2017; RAHMAN et al., 2013)

Em relação aos avanços tecnológicos necessários para modernização do segmento, há a possibilidade de se conceber a utilização de um ecossistema de tecnologias junto ao BIM, oferecendo processos automatizados, tecnologia sensorial, *laser scanning*, realidade aumentada, conexão com dispositivos móveis, realidade virtual, acesso remoto, bem como outras ferramentas (BORISKINA, 2019). Entretanto, a mudança proposta pela transformação digital não é apenas técnica, mas também organizacional, reformulando o modelo de negócios e oferecendo crescimento sustentável para as empresas que o implementam como parte da sua estratégia (HEATON et al., 2019).

Conforme pesquisa da McKinsey & Company (2020), a pandemia do COVID-19 acelerou ainda mais tais tendências nas indústrias, mesmo na construção, e muitos empreendedores da construção civil já estão investindo ativamente na transformação digital. Esse cenário afeta a sustentabilidade dos negócios: mais do que nunca é necessário inovar para sobreviver. Nesse sentido, a transformação digital surge um aspecto estratégico, transformando processos e garantindo sustentabilidade, eficiência e crescimento.

1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma revisão de literatura sobre o potencial de transformação digital na construção civil por meio do BIM.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se atingir o objetivo geral, será necessário o desenvolvimento dos seguintes procedimentos:

- Construir um referencial teórico sobre o BIM e a transformação digital.
- Propor e discutir a digitalização da cadeia de valor (*value chain*) da construção civil.
- Propor um *framework* para implementação da transformação digital em empresas brasileiras da construção civil.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

A Figura 1 descreve qual foi a estrutura de pesquisa adotada:

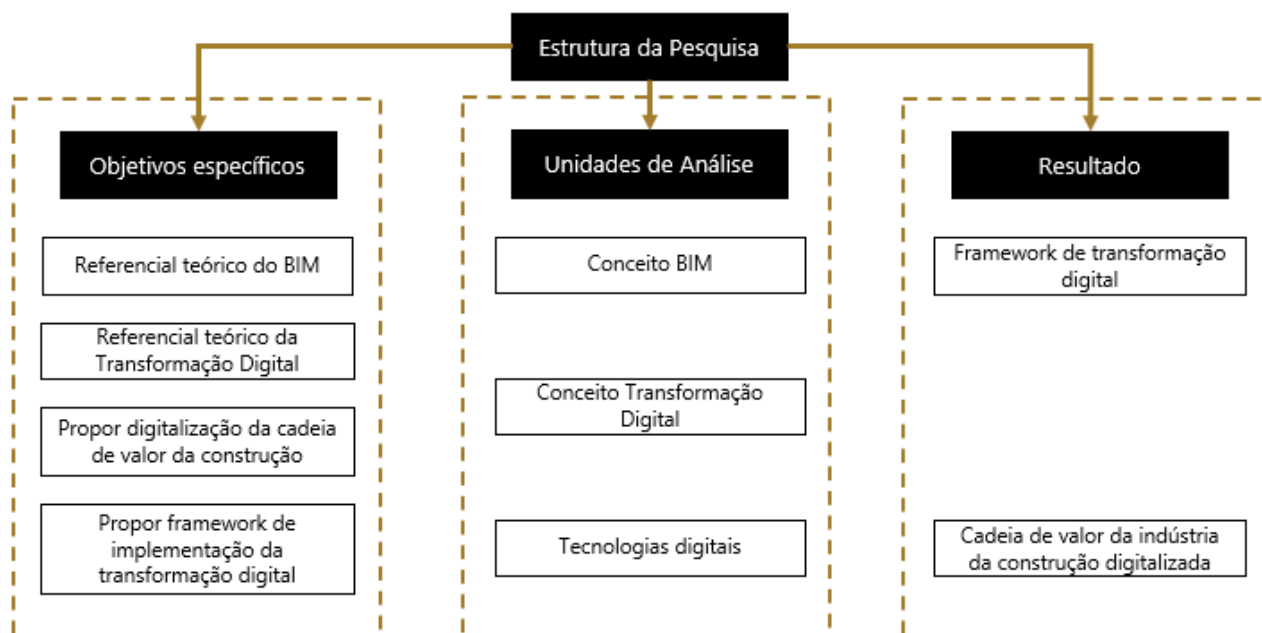


Figura 1 - Estrutura da Pesquisa
Fonte: Elaborado pelo autor

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 BUILDING INFORMATION MODELING

Building Information Modeling (BIM) é definido por padrões internacionais como a representação digital compartilhada de características físicas e funcionais de qualquer objeto de construção, facilitando o *design*, construção e processos operacionais, a fim de formar uma base confiável para a tomada de decisões (ISO, 2016). A diferença fundamental entre o BIM e o CAD 3D, é que no último as representações do edifício (como planos, sessões e elevações), mesmo tridimensionais, são independentes. Essa independência nas representações do CAD 3D exige que, uma vez que um objeto seja modificado, todos os outros relacionados deverão ser checados e alterados, processo que está mais vulnerável a erros.

Os dados presentes no CAD são essencialmente gráficos, enquanto no BIM toda a informação do edifício está automaticamente associada aos objetos que o compõe, de forma integral. Desta forma, o BIM pode integrar informações do modelo gráfico, com dados relacionados ao cronograma, orçamento, materiais, eficiência energética e etc. Aqui, a modelagem não se prende ao caráter representativo, mas busca realizar uma simulação digital realista do edifício e da execução do projeto (CARVALHO; BRAGANÇA; MATEUS, 2019). Apesar disso, a definição do BIM ainda não é universalmente homogênea, sendo consenso sua natureza multidisciplinar, contendo a representação digital do edifício e podendo ser um repositório de dados do projeto (MIETTINEN; PAAVOLA, 2013; AZHAR, S et al, 2012).

Na Figura 2 é possível observar a troca de informações entre várias disciplinas no modelo compartilhado (BIM) e como isso ocorre no processo tradicional (CAD).

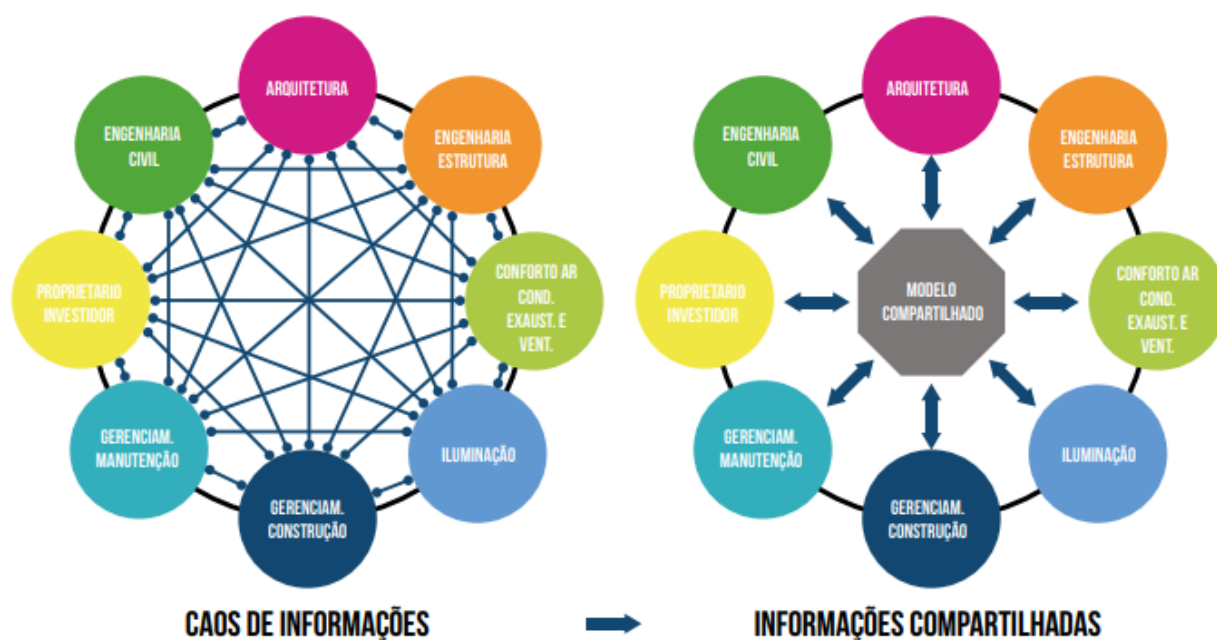


Figura 2 - Processo de troca de informações no CAD e no BIM
 Fonte: Coletânea Implementação do BIM para construtoras e Incorporadoras (CBIC, 2018)

Tal natureza integrativa também permite que o BIM seja observado e implementado numa perspectiva processual: um processo digital que atravessa todas as disciplinas, aspectos, objetos e etapas do projeto permitindo que todos os stakeholders (engenheiros, arquitetos, contratados, empreiteiros, fornecedores e proprietários e etc) trabalhem de forma colaborativa e coesa, realizando atualizações que sejam automaticamente refletidas no modelo e compartilhada para as partes interessadas, garantindo precisão. Entretanto, antes de ser encarado como um processo digital pela organização, é preciso que o BIM seja internalizado através de um processo de implementação rompendo com paradigmas organizacionais e culturais, alterando rotinas de trabalho e sendo disseminado de maneira *top-down*, caso contrário apenas será utilizado como recurso tecnológico, com pouca diferença nos processos tradicionais de gestão de projetos do segmento (FERREIRA; SANTOS, 2015).

A base da modelagem em BIM pode ser construída com o trabalho coletivo de todos os especialistas responsáveis por determinados processos no mesmo

projeto, facilitando também a identificação de colisões e mudanças importantes a serem feitas antes ou na fase inicial da execução do projeto. Além disso, os modelos BIM permitem o planejamento do projeto com precisão, melhorando os processos logísticos da construção. Por estes motivos, o uso da modelagem da informação da construção é capaz de diminuir a diferença entre o custo real e o custo planejado do projeto (LOBANOVA; 2017). Além de oferecer novos métodos de colaboração, ele também introduz questões em relação ao desenvolvimento de equipes de trabalhos eficazes, determinando métodos que serão usados para permitir o compartilhamento adequado de informações do modelo para os membros da equipe do projeto (EASTMAN et al, 2008).

A adoção da modelagem da informação da construção nas fases de *design* e construção, tem indicado um ganho de produtividade, redução de custos e aumento na gestão de riscos (NBS ENTERPRISES, 2017). Entretanto, desde o início da divulgação do conceito BIM, sua adoção por parte da organização como um todo incluindo setores como recursos humanos, financeiro, experiência do cliente e desenvolvimento de negócios tem sido limitada ou nula (KELLY et al., 2013). Segundo Ramos, Rodrigues e Mello (2018) existe grande potencial de transformação na digitalização da construção civil, mas as mudanças estão ocorrendo de forma muito lenta. Ainda não existem evidências diretas de que o BIM esteja sendo utilizado dentro de um processo de transformação digital (HEATON et al., 2019).

O governo federal emitiu o Decreto nº 9377, de 17 de maio de 2018, que institui a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* (Estratégia BIM BR). O planejamento da Estratégia BIM BR pressupõe a exigência do BIM na elaboração dos modelos de arquitetura e de engenharia referentes às áreas de estrutura, hidráulica, aquecimento, ventilação, ar condicionado e de elétrica (BRASIL, 2018). Em 2024, o planejamento da execução da obra, torna-se o foco da estratégia de disseminação dos modelos BIM. A partir de 2028, a estratégia abrangerá todo o ciclo de vida da obra, considerando também atividades do pós-obra. A partir daí será exigido que o BIM seja aplicado, no mínimo, nas construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância, nos usos previstos nas fases anteriores da estratégia e nos serviços de gerenciamento e manutenção do empreendimento após sua conclusão (BRASIL, 2018).

Para além da tridimensionalidade, o BIM pressupõe outras dimensões que analisam o edifício por diferentes aspectos, dando ao modelo maior proximidade com o empreendimento real e execução do projeto. Tais dimensões são descritas na tabela 1.

Dimensão	Descrição	Exemplo de Softwares
3D	A tridimensionalidade do BIM é acompanhada pelas informações que cada objeto possui, podendo serem atualizadas a qualquer momento durante o ciclo de vida da obra, não se limitando apenas à representação geométrica.	
4D	Adiciona o planejamento ao modelo tridimensional, sendo possível definir e controlar quando o elemento será executado assim como o desenvolvimento dos processos do projeto.	
5D	Acrescenta o gerenciamento de custos do projeto, determinando quanto irá custar cada etapa do projeto, evitando extrapolações do orçamento na etapa de execução da obra.	
6D	Adiciona o fator sustentabilidade à modelagem, analisando o tipo e quantidade de energia a ser consumida nas etapas do projeto. Também inclui a certificação de empreendimentos.	
7D	Acrescenta a gestão das instalações e manutenção da obra, contendo tais informações num único local no modelo de informação do edifício. Essa dimensão busca promover uma melhor qualidade na prestação de serviços durante todo o ciclo de vida da obra.	
8D	Inclui a análise, gestão, prevenção de acidentes e riscos do modelo. Segurança ocupacional e saúde.	

Tabela 1 - Dimensões do BIM

Fonte: Elaborado pelo autor

Embora haja convenções do que seriam as dimensões do BIM, tais categorizações possuem variações, além de existir concepção de novas dimensões. Segundo Koutamanis (2020), os usuários do BIM devem ter uma compreensão clara de como os valores da modelagem são retornados (principalmente em casos em que há necessidade de dados primários terem de ser incluídos no modelo) sendo que em muitos casos, também ser capaz de dominar como esses valores são produzidos. Reduzir a riqueza da modelagem da informação da construção a uma visão simplista de “dimensões”, implicando uma propriedade que pode ser facilmente, estaticamente e deterministicamente, incluída no modelo, pode minar o potencial do BIM e de suas vantagens no *design* e na execução dos projetos (KOUTMANIS; 2020).

Apesar dos potenciais ganhos oferecidos pela transformação digital em combinação com a modelagem da informação dos edifícios, a lentidão e implementação localizada do BIM e de novas tecnologias indica paradigmas conceituais a serem analisados, para alinhar a expectativa dos idealizadores do digital e do BIM com os limites da realidade da indústria.

Segundo Paavola e Miettinen (2014) é possível definir quatro principais elementos da utopia BIM (também chamada de “visões idealistas do BIM”) que estão presentes na literatura deste conceito:

- Todos os dados relevantes no *design* e na construção de um edifício serão inseridos em um único modelo BIM ou estará facilmente disponível por meio de plataformas BIM, repositórios comuns ou bancos de dados distribuídos.
- Uma vez que permite a interoperabilidade entre dados a partir de modelos de *design* nativos, o BIM se torna uma ferramenta de colaboração permitindo novas abordagens integradas de trabalho.
- BIM será mantido (após a fase de construção) e será usado durante todo o ciclo de vida do edifício.
- Espera-se que o BIM irá aumentar consideravelmente a eficiência e a produtividade da indústria da construção.

Em relação a idealização de um único modelo BIM, através do qual as tecnologias são integradas, a interoperabilidade da informação é vista como um dos principais desafios. Entretanto, contesta-se que haja uma vontade real de que este cenário seja alcançado (HOWARD; BJORK, 2008). Uma forma alternativa de se

definir o BIM é abordando-o como um conjunto multifuncional de instrumentalidades que assistem a específicos propósitos e que são progressivamente integrados (sem estabelecer em que nível deve ser esta integração (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014). O conceito de multidisciplinaridade e heterogeneidade das diferentes plataformas e tecnologias torna-se evidente uma vez que tais plataformas são desenvolvidas por diferentes fornecedores, tornando a modelagem da informação uma prática com tecnologias híbridas utilizadas em conjunto de outras tecnologias digitais e não-digitais.

Partindo da premissa de que é necessário que todas as partes interessadas (incluindo proprietários e gestores de instalações) estejam envolvidas com o BIM para esta ser aplicada na fase de Operação e Manutenção dos Edifícios (pós-construção), este cenário encontra-se distante da realidade neste momento. Há poucos dados sobre como o BIM tem sido utilizado em Gestão de Utilidade e não está claro se há alguma tendência em torno dos proprietários, gestores de utilidades e profissionais da manutenção em investir e se aprofundar no uso do BIM (BECERIK-GERBER, 2010; RICE 2010; KIVINIEMI, 2013).

Em relação aos benefícios e ganhos em produtividade, embora haja exemplos de experiência bem-sucedida de implantação do BIM, existe a dificuldade de quantificar os ganhos de produtividade (embora eles sejam evidentes) uma vez que de isolar outros fatores que igualmente contribuem para o ganho de produtividade, qualidade e eficiência (ZHOU et al., 2017; LIU; ZHAO, 2014; LIU et al., 2019; ZHANG, 2011).

2.2 TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

A Modelagem da Informação da Construção é considerada uma das principais tecnologias para a digitalização na construção, uma vez que a simulação e a modelagem são posicionadas como um dos clusters conceituais da Indústria 4.0. (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). O BIM permite que o segmento da construção explore tecnologias emergentes tais como realidade aumentada, estrutura cyber-física, sistemas em nuvem, Internet das Coisas e outras tecnologias com alto potencial de digitalização da indústria da construção, tanto na perspectiva do cliente quanto do fornecedor do serviço (MCGIBNEY; REA; PLOENNIGS, 2016; CARRILLO; BENITEZ; MENDOZA, 2015).

Durante a crise da pandemia, organizações e indústrias em todo o mundo foram desafiadas a alterar formas de organização de trabalho e adotarem de forma acelerada tecnologias digitais. Empresas que foram bem-sucedidas durante a pandemia reportaram abrangência de capacidades tecnológicas digitais, bem como uma estratégia corporativa orientada à tecnologia e dados (MCKINSEY, 2020).

A Figura 3 retrata o nível de interesse em pesquisas comparado ao mais alto ponto do gráfico baseado numa determinada região, aqui considerado o Brasil, e um período, extraído através do Google Trends. Quando a frequência de pesquisa num dado período é a mais alta ela é marcada como 100, quando a frequência de pesquisa é a metade da mais alta ela é marcada como 50.

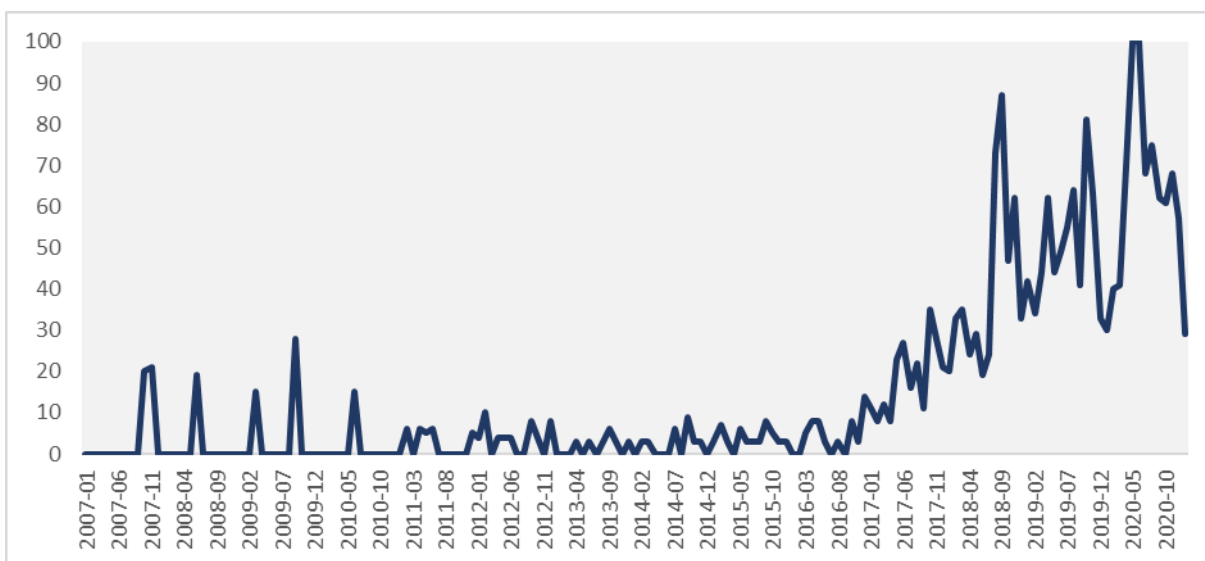


Figura 3 - Interesse na palavra-chave "Transformação Digital" ao longo do tempo
Fonte: Elaborado pelo autor

Semelhante ao que ocorre nas discussões sobre o BIM, o conceito de transformação digital também guarda em si uma grande variedade de significados e vem sendo cada vez mais abordado na literatura acadêmica e nas organizações profissionais como um elemento chave da estratégia organizacional para conceder crescimento sustentado (HEATON et al., 2019).

Chaniás (2017) define transformação digital pelo uso estendido da tecnologia da informação avançada, como *analytics*, computação móvel, mídias sociais, sistemas embarcados, e o uso aperfeiçoado das tecnologias tradicionais como sistemas integrados de gestão empresarial (ERPs) e outros sistemas digitais, a fim de prover significativa melhorias nos negócios.

Kane (2017) argumenta que o melhor entendimento de transformação digital é a adoção de processos de negócios e práticas para ajudar a organização a competir de forma eficiente em um mundo cada vez mais digital.

Segundo Dermikan et al. (2016), a transformação digital é uma profunda e acelerada transformação das atividades do negócio, processos, competências e modelos para alavancar no maior potencial as mudanças e oportunidades trazidas pelas tecnologias digitais e seu impacto na organização de uma forma estratégica e priorizada.

Haffke et al. (2016) traz um enfoque da transformação digital como digitalização dos canais de comunicação, trazendo novas formas de interagir com o cliente e digitalização dos produtos e serviços da empresa, aumentando ou trocando os produtos físicos oferecidos. Ainda sob sua perspectiva, a transformação digital também seria a mudança em torno da realização de movimentos táticos e estratégicos através de insights baseados em dados e no lançamento de modelos de negócios digitais, elaborando novas formas de capturar valor.

Veldhoven e Vanthienen (2019) retratam a transformação digital como uma contínua e crescente interação entre as tecnologias digitais, os negócios e a sociedade, resultado em efeitos transformadores e mudanças na velocidade dos processos, escopo e impactos.

Andriole (2017) assevera que a transformação digital não é uma simples atualização de softwares nem um projeto de melhoria na cadeia de suprimentos, mas sim um choque digital planejado para o que pode ser um sistema funcionando razoavelmente.

Berman (2012) pontua que a transformação digital irá resultar numa mudança de paradigma caracterizado pela “hiper-conexão” e colaboração entre consumidores e organizações ao longo das atividades da cadeia de valor: *co-design*, *co-execução*, *co-marketing*, *co-distribuição* e *co-financiamento*.

Cordella e Tempini (2015) também evidencia um alto nível de colaboração promovido pela transformação digital entre departamentos de uma mesma organização, suportando a coordenação e desenvolvimento de processos administrativos e trazendo mudanças significativas na cultura e nas estruturas.

Solis (2017) define a transformação digital como um realinhamento ou investimento, que inclui de forma geral as atividades corporativas, tecnologia utilizada, modelo de negócios e operações.

Reis et al. (2018), destacam que um processo transformação digital não trás apenas melhorias operacionais e maior colaboração entre as partes de uma mesma organização, mas também permite melhorias em todos os aspectos da experiência do consumidor.

Para a IBM (2011), a transformação digital consiste numa completa redefinição da proposta de valor e do modelo de operação, usando tecnologias digital a fim de conquistar maior colaboração e interação com os clientes.

Heaton et al. (2019) evidencia que a construção de um framework com as premissas da gestão da informação da do BIM pode permitir o desenvolvimento da transformação digital, embora não haja evidências de que o BIM esteja sendo utilizado para tal propósito nas organizações.

2.3 ECOSSISTEMA DE TECNOLOGIAS

Como foi visto anteriormente, os conceitos de modelagem da informação da construção e transformação digital, suportam um ecossistema rico e integrado de tecnologias que podem trazer eficiência, maior colaboração e assertividade. A seguir, será abordada a aplicação de tecnologias digital na indústria da construção e da arquitetura de forma relacionada ao BIM.

2.3.1 *Big data e Analytics*

Tipos variados de informações são gerados em cada projeto, em todo o ciclo de vida de um edifício. A integração destas informações pode caracterizar um processo difícil, uma vez que esses dados são gerados e coletados por diferentes processos, com objetivos diferentes. Em virtude do grande volume de dados com potencial de utilização, a fim de melhorar o desempenho da indústria da construção civil, é evidente a importância de ferramentas de Big Data na engenharia civil.

Huang et al. (2021) explora como técnicas de Big Data podem ser aplicados em toda a cadeia de valor da construção, a fim de tornar a gestão e a tomada de decisões orientada a dados. Análises em robustas bases de dados sobre o comportamento do consumidor ou relacionadas à infraestrutura, podem fornecer informações relevantes para a tomada de decisões na fase do *design* do edifício aumentando a eficiência da infraestrutura, bem como reduzir o peso de efeitos subjetivos na construção de orçamentos. Entre bases de dados que podem auxiliar no *design* temos o exemplo das pesquisas com consumidores, relatórios de fluxo de pessoas, registros de câmeras de segurança, entre outros. (CHENG et al., 2020)

Tecnologias relacionadas ao Big Data podem trazer valor ao processo de compra e melhorar a eficiência da gestão cadeia de suprimentos da construção civil. Sistemas de identificação por radiofrequência (RFID) podem contribuir na coleção de dados relacionados ao uso, armazenamento e logística dos materiais (LU et al., 2011).

Na fase do planejamento da construção, as empresas podem reutilizar dados de obras passadas para refinar a construção de cronogramas com análises preditivas. A tecnologia RFID (atrelados aos insumos ou mão de obra) pode auxiliar

no mapeamento de processos, verificando esperas e fluxos de atividades que não geram valor, concebendo os melhores arranjos produtivos. Tecnologias integradas no conceito do BIM, podem coletar informações *as-built* através do escaneamento de infraestrutura, bem como tecnologias da Realidade Aumentada podem determinar se a construção está de acordo com o cronograma (LU et al., 2011; TANG et al., 2010; HAN; FARD,2017). Execuções de construções possuem também uma robusta geração de dados relacionados à Gestão da Qualidade e Segurança do Trabalho, através das inspeções realizadas nos canteiros de obras. Tais tipos de informações podem ser utilizados para realização de análises preditivas de falhas em estruturas e em outros processos operacionais, bem como também explorar as causas de acidentes em processos executivos, quando atrelado ao RFID, oferecendo monitoramento da segurança em tempo real (LIAO; PERNG, 2007; HAN; FARD,2017).

2.3.2 Realidade Virtual

Tecnologias de realidade virtual pressupõe uma completa imersão em um ambiente digital, anulando (ou reduzindo) a percepção do usuário em relação ao mundo físico (TEPPER et al., 2017).

Dentro os vários benefícios oferecidos pela realidade virtual na construção civil é a capacidade de otimizar o processo de *design*, planejamento e treinamento, uma vez que tecnologias desta natureza conseguem simular a presença física do usuário em um ambiente real ou “imaginado”, podendo também oferecer ao cliente uma experiência do futuro empreendimento antes mesmo do processo de construção ser iniciado (MOTAMEDI et al.; 2016; STEFFEN et al.; 2019).

2.3.3 Realidade Aumentada

Em resumo, a realidade aumentada é a integração do elemento digital da Realidade Virtual com o elemento físico. Em outras palavras, é a integração entre informações digitais com visualizações de objetos reais através de uma câmera e com o emprego de sensores e outras tecnologias. A realidade aumentada pode contribuir na fase da construção, na inspeção dos processos operacionais, na

experiência do cliente ao ter contato com o projeto em andamento e nos processos de manutenção. Park et al. (2013), pontua que vários modelos de informação de um elemento de trabalho como desenhos tridimensionais, materiais e cronograma são transformados em um marcador que performa como um instrumento de realidade aumentada, que se sobrepõe a um elemento real em campo. Tal tipo de visualização possibilita melhores inspeções e planejamento da construção, bem como traz valor para a experiência do cliente durante a fase de operações em obra. (LI et al., 2018; CHI et al., 2013; CUPERSCHMID; GRACHET; FABRÍCIO, 2015).

2.3.4 Computação em Nuvem

Para Tigre e Noronha (2013) a computação em nuvem representa a prática de inserir toda a infraestrutura e informação disponível de forma digital, pela internet, incluindo softwares, ferramentas de buscas, redes de comunicação, provedores, centros de armazenamento e processamentos de dados. Em outras palavras, a computação em nuvem é a virtualização de serviços e processos computacionais.

Segundo Chong, Wong e Wang (2014) existem duas abordagens para a implementação do BIM: numa abordagem o modelo da informação da construção é disponibilizado na nuvem, enquanto na outra o software BIM é virtualizado na nuvem. Desta forma, o BIM baseado em nuvem aumenta a acessibilidade da modelagem para as partes envolvidas, aumenta sincronicidade de revisões e compartilhamento de dados em tempo real entre todos os stakeholders, minimizando riscos existentes no trabalho offline.

2.3.5 Impressão 3D

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva, consiste na produção de objetos a partir de um modelo digital tridimensional. Segundo Kreiger, Kreiger e Case (2019), o processo mais comum de impressão 3D consiste na extrusão, no qual um modelo tridimensional pré-definido do objeto a ser fabricado é analisado e convertido no esboço da impressão onde as camadas serão impressas de baixo para cima.

Para Durakovic (2018), a impressão 3D oferece muitos ganhos potenciais, garantindo eficiência produtiva, assertividade, qualidade, redução de resíduos da operação e menor consumo de energia em comparação com outros sistemas de produção tradicionais. Levando em consideração a capacidade do BIM conectar as fases de *design* e fabricação, num cenário onde a tecnologia utilizada é a manufatura aditiva o modelo BIM pode ser convertido facilmente num componente para ser impresso tridimensionalmente (PESSOA et al., 2021).

2.3.6 Laser Scanning

Tecnologias de *scanning* são utilizadas na construção civil para gerar modelos assertivos de edifícios. O *laser scanning* utiliza um feixe de laser para capturar as características de um objeto em múltiplas direções em torno ou dentro da estrutura de um edifício. Uma vez que os pontos de dados são capturados, eles são salvos digitalmente (agregados numa nuvem de dados e assinalados em coordenadas X, Y e Z) para representar a correlação espacial entre os objetos (NGUYEN; NGUYEN; DO, 2020).

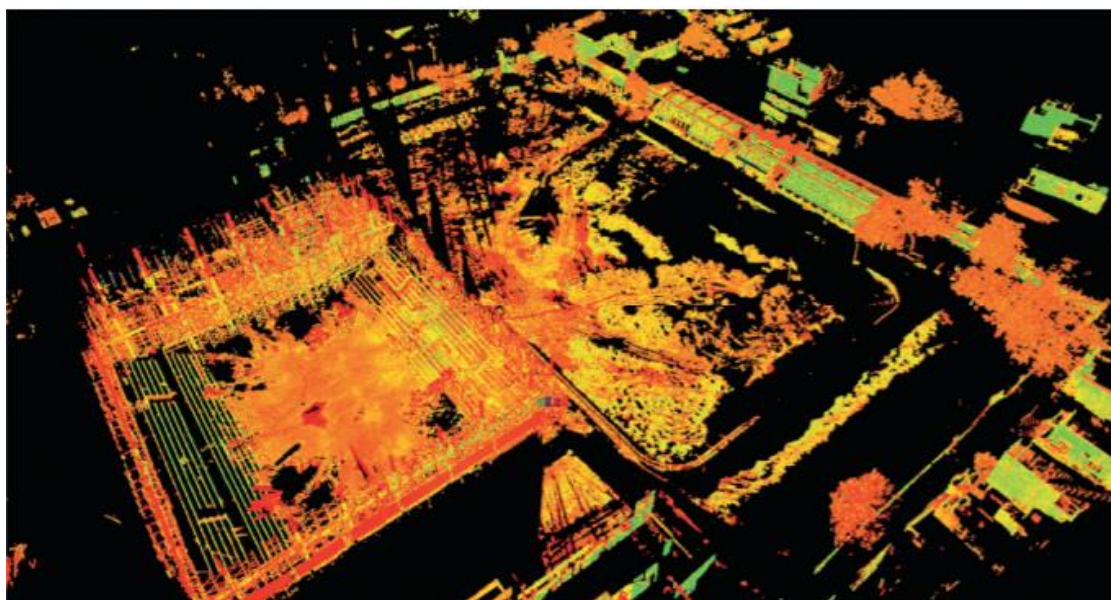


Figura 4 - Nuvem de pontos coletada
Fonte: NGUYEN; NGUYEN; DO, 2020

Uma nuvem de pontos pode ser o objeto pelo qual será gerado um modelo BIM, bem como pode servir de parâmetro de avaliação da assertividade do modelo BIM quando comparado à realidade. Dentro as aplicações da integração do *scanning* com o BIM está a produção eficiente de documentação as-built, controle da qualidade, controle de progresso, atualizações no modelo BIM etc. (ARYAN et al., 2021).

2.3.7 Drones

Desde 2012, a implementação da tecnologia Drone tem obtido progressivo sucesso com a implementação por parte de grandes empresas da construção civil. Por promover fácil acesso a grandes instalações ou de difícil acesso, a tecnologia pode agregar valor em atividades como inspeção de obras, levantamento topográfico, materiais visuais para clientes, monitoramento da progressão da obra, controle de segurança, mapeamentos e etc. (ZAYCHENKO; SMIRNOVA; BORREMANS; 2018).

A utilização da tecnologia de drones no contexto da modelagem da informação e edifícios pode potencializar outras tecnologias, melhorar a coleta de dados e tornar possível a construção de modelos mais precisos (MAHAJAN, 2021).

2.3.8 Tecnologia Blockchain

O blockchain é um tipo de base de dados distribuída, que armazena um registro de transações permanente à prova de violações através de protocolos de criptografia. Essa tecnologia permite rastrear e armazenar os ativos tangíveis e intangíveis ao longo de uma rede descentralizada "*peer-to-peer*". Os dados são salvos em conjunto de blocos ligados em uma cadeia consecutiva e qualquer alteração requer o conluio ou colaboração da maioria dos participantes. (LU et al., 2021).

As características promovidas pelo blockchain como colaboração, integridade, segurança na troca de dados, autenticação e descentralização, permitem ganhos potenciais nos processos da construção civil, evitando fraudes, promovendo maior confiança entre partes envolvidas, permitindo rastreabilidade de

erros e automatização de processos. Contratos inteligentes, gestão da cadeia de suprimentos e gestão da informação são mencionados como possíveis aplicações na construção civil e adesão de valor pode ser maior quando há integração com o BIM, Internet das Coisas e sensores (YANG et al., 2020; LU et al., 2021; SCOTT; BROYD; MA, 2021).

2.4 IMPLEMENTAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Alguns *frameworks* (estruturas conceituais ou processuais) são sugeridos na implementação de processos de transformação digital, como o *framework* conceitual proposto por Van Tonder et al (2020). Entretanto, tais modelos são de difícil aplicação no contexto da indústria da construção civil, uma vez que não são genéricos e não são orientados a ações. Berman (2012) sugere que um processo de transformação digital deve abordar a proposta de valor, a transformação do modelo operacional e organizacional e a experiência do cliente.

Shaughnessy (2018) propõe um processo de transformação baseado em metodologias ágeis de trabalho, segmentando-o em pequenas etapas e ciclos (iterações), priorizando comunicações diárias e reavaliações cíclicas dos objetivos e metas atingidas. Berman et al (2016) realça a importância de um novo foco estratégico que parte da alta gestão da empresa, desenvolver novas expertises e capacidades e estabelecer novas formas de trabalho.

Bhattacharya e Momaya (2021) sugerem um *framework* conceitual para a indústria da construção, engenharia, arquitetura e operações, abordando uma estratégia ágil alinhada a cadeia de valor, garantir mudança e continuidade e mobilizar as dinâmicas e capacidades técnicas. A transformação digital proposta por Corver and Elkhuizen (2014) aborda a implementação na organização de uma forma integral e é construída de quatro pilares: A experiência do cliente, o produto/serviço, a organização, os processos e os sistemas.

Van Tonder et al (2020) propõe um *framework* conceitual que considera cinco aspectos fundamentais da transformação digital:

- Os produtos oferecidos: desenvolvimento de novos produtos ou digitalização dos produtos e serviços existentes

- Clientes: Atendimento das necessidades dos clientes através de plataformas digitais
- Recursos: Identificar e adquirir os recursos necessários para incorporar tecnologias digitais
- Capacidades: atualizar as capacidades existentes em capacidades digitais
- Estratégia: modelar uma estratégia para garantir a transformação digital como um foco fundamental

Matt et al. (2015) descreve a transformação digital como um conceito que deve ter posicionamento central na organização, integrando ações coordenadas, determinando prioridades e direcionando a digitalização na organização. A implementação deve observar quatro principais pilares: uso da tecnologia, mudança na criação de valor, mudanças estruturais e aspectos financeiros.

3 DISCUSSÕES

Embora o conceito do BIM e da transformação digital ainda estejam em desenvolvimento, boa parte das tecnologias modernas e de tendência podem ser aplicadas na construção civil, desde as fases iniciais até a fase de manutenção e operação do edifício, embora tais oportunidades ainda não sejam exploradas em todo seu potencial na indústria da construção. Em grande parte das empresas, a aplicação do BIM não chegou a um nível que abranja toda a cadeia de valor da construção, promovendo um cenário de trabalho colaborativo que não se resume a aplicação localizada de tecnologias em fases específicas do projeto. A Figura 5 mostra que a construção civil se encontra entre os setores menos digitalizados:



Figura 5 - Indústria da construção entre os setores menos digitalizados
Fonte: Mckinsey Global Institute Industry Index, 2015.

A Figura 6 retrata algumas aplicações de algumas das tecnologias em progressiva implementação no meio industrial, na cadeia de valor da construção.

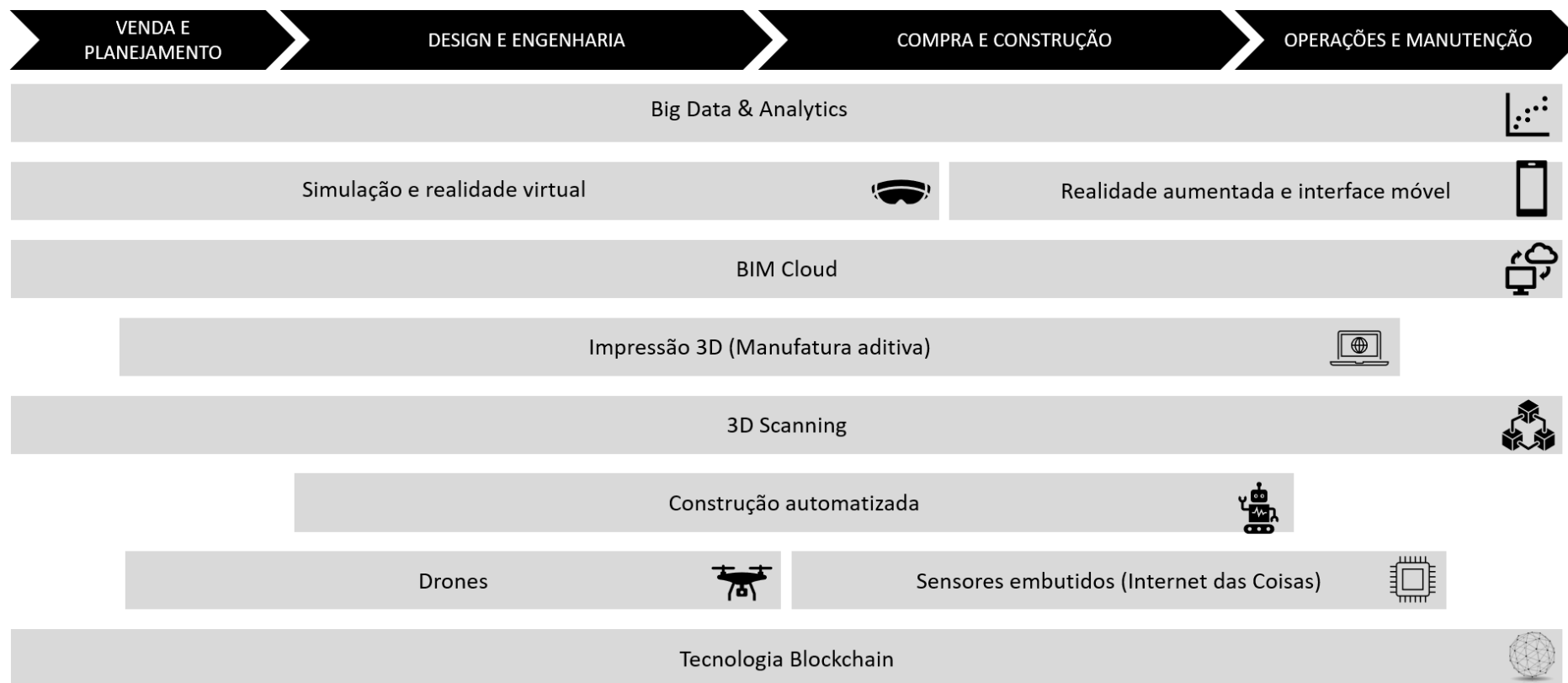


Figura 6 - Aplicação de tecnologias modernas ao longo da cadeia de valor da construção
Fonte: Adaptado de Boston Consulting Group, 2016

Em relação as tecnologias estudadas, é possível listar diversas oportunidades digitais, tais como:

- Modelagem digital: construção colaborativa e iterativa entre as disciplinas na criação de modelos, com fácil compatibilização, consistência e avaliação.
- *Design* orientado a dados: desenvolvimento e otimização de modelos com a utilização de big data e ferramentas de análise de dados.
- Representação virtual de estruturas físicas através do *3D scanning* a partir de lasers.
- Simulação holográfica por realidade virtual e rápida prototipagem através da impressão 3D.
- Planejamento da construção orientada a dados e execução enxuta: cronograma e alocações suportadas com ferramentas baseadas na computação em nuvem, big data (de projetos anteriores) e utilização da tecnologia RFID para planejamento logístico, gestão de mão de obra e acompanhamento do progresso da obra.
- Compartilhamento de dados em tempo real entre as partes interessadas, integração de tecnologias através do BIM Cloud. A tecnologia blockchain assegura a colaboração, transparência e integridade digital de dados e transações realizadas.
- Construção automatizada a partir de modelos digitais, através da impressão digital e outras formas automatizadas de construção.
- Monitoramento, medição e inspeção com assertividade e facilidade através de drones, 3D scanning e outras tecnologias robotizadas.
- Realce da operação e manutenção do edifício através do modelo digital, promovendo uma integração da modelagem já realizada nas fases iniciais da construção do edifício com as facilidades do edifício após a construção.
- Monitoramento de condições do edifício e manutenção preditiva através de sensores, 3D-scanning ou câmeras, reduzindo custos ou falhas inesperadas, gerando também um repositório contínuo de dados.

Com base no referencial teórico construído sobre o BIM, transformação digital e aos diferentes *frameworks* conceituais sugeridos na literatura, com seus diferentes pilares e enfoques na construção de uma estratégia e implementação da transformação digital, é possível idealizar um *framework* orientado a atividades, que seja capaz de suportar a gestão de um processo de transformação digital em empresas de construção civil, refletindo as tendências de mercado da construção, as novas funções relacionadas ao BIM.

A digitalização deve partir de uma posição estratégica, garantida pela alta gestão da empresa, em completo alinhamento com os propósitos e objetivos da companhia, atravessando todos as áreas transformando o modelo de negócios. Esse alinhamento estratégico definirá qual o orçamento necessário para investir na transformação digital e se desdobrará em metas setoriais e individuais.

Para o atingimento das metas, deverão ser planejados ou executados protótipos que reduzirão as implantações em projetos menores e com gerenciamento mais simples. A organização deverá nesse momento realizar processos de seleção de profissionais do mercado que exerçam funções relacionadas ao digital como projetistas BIM, Gestores BIM, *Agile Coach* (encarregado de implementar metodologias ágeis de gestão de projetos), bem como na capacitação de funcionários já existentes. A implantação de metodologias ágeis no ambiente de trabalho são relevantes no contexto da digitalização, uma vez que podem permitir maior agilidade, assertividade e colaboração nas equipes. As iniciativas tomadas na execução dos protótipos deverão ser controladas em ciclos curtos para acompanhamento do atingimento das expectativas. A construção das capacidades técnicas deverá identificar quais plataformas, softwares, sistemas e métodos deverão ser implementados na organização afim de desenvolver novas expertises.

O processo de transformação digital retorna na avaliação do propósito da empresa frente a estratégia de digitalização, reavaliando suas premissas e verificando os resultados obtidos e perspectivas futuras. A figura 7 retrata esse *framework* partindo do propósito para a estratégia de digitalização:

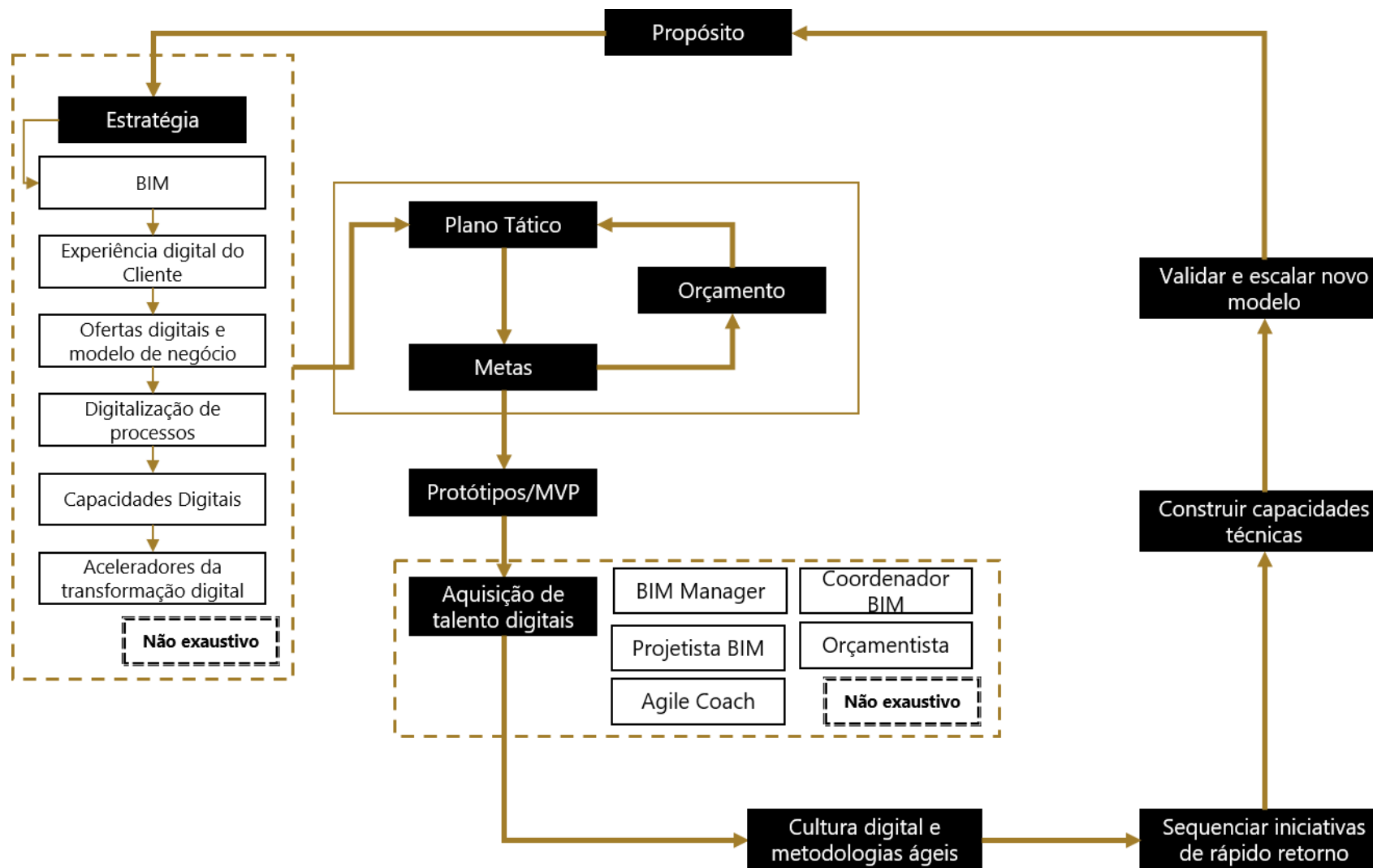


Figura 7 - Framework de transformação Digital
Fonte: Elaborado pelo autor

O framework se resume nas seguintes etapas:

- **Propósito:** deve partir da alta gestão o comprometimento com a transformação digital, bem como o propósito de médio e longo prazo da organização para com a transformação digital do negócio.
- **Estratégia:** a partir do propósito, deverá ser estudada uma estratégia para a implantação do BIM e das tecnologias digitais na cadeia de valor da organização, levando em consideração:
 - a experiência e jornada do cliente e/ou usuário final, assim como de partes interessadas no projeto.
 - Tipos de produtos e novos modelos de negócio digitais que serão ofertados.
 - Digitalização de processos: Modelagem, orçamento, compras, processos construtivos, Qualidade, RH e etc.
 - Capacidades digitais: Treinamentos, desenvolvimento de TI, plataformas e softwares, gestão de dados, Integrações, metodologias ágeis.
 - Aceleradores: M&A, incubação de start-up, joint-venture, contratação de consultoria de tecnologia/outsourcing.
- **Desenvolvimento de plano tático:** com planejamento e alvos claros e bem definidos para toda a organização.
- **Desdobramento de metas:** relacionadas a transformação digital e associadas a bonificação.
- **Definição de orçamento:** Para investimento na implantação e atualização do plano tático e desdobramento de metas.
- **Definição e realização de protótipos e/ou Produtos Mínimos Viáveis**
- **Aquisição de talentos:** com experiência em BIM, gestão de ferramentas digitais e metodologias ágeis.
- **Disseminação da cultura digital:** para toda a empresa, bem como sobre a metodologia ágil e manter toda a organização a par dos projetos que estão sendo realizados.

- **Definir iniciativas com retorno rápido:** para avaliar andamento das implementações, projetos e progressão do ciclo da transformação digital.
- **Construir capacidades:** Definir, implementar e modernizar as principais plataformas digitais para o negócio. Modernizar a TI para uma função estratégica na empresa. Construir programas de aprendizado em BIM.
- **Validar e escalar novo modelo operacional:** Validar as iniciativas e objetivos alcançados, redesenhar processos e estruturas organizacionais e escalar novo modelo para toda a organização.

O *framework* proposto considera todos os fatores relevantes descritos na literatura explorada, porém organiza-os em uma estrutura processual para ser abordado em etapas de forma estruturada, garantindo maior assertividade na implementação. Tal assertividade tem maior potencial de guiar com sucesso mesmo as empresas com menos contato com tecnologias digitais, cenário de muitas empresas brasileiras de construção civil. Uma vez que o segmento da construção é pouco digitalizado em relação aos demais, empresas que investirem na digitalização obterão potencial vantagem competitiva.

4 CONCLUSÃO

O BIM e a transformação digital na construção civil são assuntos cada vez mais abordados e demandados. Embora a transformação digital ofereça ganhos potenciais para as empresas do segmento, essa tendência ainda não apontou para uma transformação substancial do setor em torno da digitalização, que pouco tem se adaptado em relação as outras indústrias. Os benefícios da modernização e da digitalização são evidentes, embora sejam necessários mais estudos para evidenciar em métricas os ganhos alcançados em produtividade, eficiência e sustentabilidade.

As organizações podem se beneficiar de uma transformação digital bem sucedida, ao executarem um *framework* conceitual orientado a ações de forma estruturada, realizando o *design* de uma estratégia de digitalização que parta da alta gestão, alinhada com a definição de investimento necessária e com os objetivos do negócio, gerando vantagens competitivas.

A aplicabilidade do BIM ao longo de toda a cadeia de valor da indústria da construção e engenharia é um desafio do segmento, embora haja muitas oportunidades de utilização de tecnologias de tendência junto ao BIM para prover modelos mais assertivos, comparações entre o modelo e o real, maior eficiência, realce da experiência do cliente, *design* e orçamento baseado em dados e etc. Estudos posteriores poderão analisar um estudo de caso de implementação de um *framework* de transformação digital, propondo ajustes ou maiores desenvolvimentos, bem como uma análise crítica entre os diversos conceitos de Transformação Digital e BIM na literatura contornados pelas condições reais da indústria da construção.

REFERÊNCIAS

AKOGBE, RK.T.M., FENG, X. & ZHOU, J. **Importance and ranking evaluation of delay factors for development construction projects in Benin.** KSCE J Civ Eng 17, 1213–1222 (2013). <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0446-2>

ALMEIDA, E. L. G.; FEITOZA, V. A. S.; CARVALHO, M. T. M.; PIÑA, A. B. S.; ARAÚJO, L. G.; AIDAR, L. A. G. **"Study of Delays in Constructions: A Managerial Point of View of Private Companies in Brasilia, Brazil."** Gestão & Produção 28.3 (2021): Gestão & Produção, 2021, Vol.28 (3). Web.

ANDRIOLE, S.J., 2017. **"Five myths about digital transformation."** MIT Sloan Manage. Rev. 58 (3), 20–22.

ARYAN, A, BOSCHÉ, F & TANG, P 2021, **'Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review'**, *Automation in Construction*, vol. 125, 103551. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103551>

AZHAR, S.; KHALFAN, M.; MAQSOOD, T.; **"Building Information Modeling (BIM): Now and beyond."** The Australasian Journal of Construction Economics and Building 12.4 (2012): 15-28. Web.

BCG. Boston Consulting Group. **Digital in Engineering and Construction. The Transformative Power of Building Information Modeling.** (March, 2016)

BECERIK-GERBER, B., & RICE, S. (2010). **"The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry"**. J. Inf. Technol. Constr., 15, 185-201.

BERMAN, S., KORSTEN, P., & MARSHALL, A. (2016). **Digital Reinvention in Action: What to Do and How to Make It Happen.** IBM, 2016. Retrieved from http://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/gb/en/gbe03752usen/gbe03752-usen-08_GBE03752USEN.pdf

BERMAN, S.J. (2012), **"Digital transformation: opportunities to create new business models"**, Strategy & Leadership" Vol. 40 No. 2, pp. 16-24. <https://doi.org/10.1108/10878571211209314>

Berman, Saul. **"Digital Transformation: Opportunities to Create New Business Models."** Strategy & Leadership 40.2 (2012): 16-24. Web.

BHATTACHARYA, S.; MOMAYA, K.S; **"Actionable Strategy Framework for Digital Transformation in AECO Industry."** Engineering, Construction, and Architectural Management 28.5 (2021): 1397-422. Web.

BORISKINA, Y. **"BIM Technologies' Effect on Transformation of a Property Life Cycle."** E3S Web of Conferences 91 (2019): 8030. Web.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. (2018). **"ESTRATÉGIA BIM - Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM"**.

CARRILLO, E.; BENITEZ, V.; MENDOZA, C.; PACHECO, J.; **"IoT framework for smart buildings with cloud computing,"** 2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2), 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISC2.2015.7366197.

CARVALHO, J. P.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. **"Optimising Building Sustainability Assessment Using BIM."** Automation in Construction 102 (2019): 170-82. Web.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. - Brasília: **Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadora.**

CHANIAS, S., HESS, T., 2016. **"Understanding digital transformation strategy formation: insights from Europe's automotive industry"**. Pacific Asia Conference on Information Systems, Chiayi, Taiwan.

CHEN, JINGLONG; YUANHONG CHANG; CHENG QU, MINGQUAN ZHANG, FUDONG LI, AND JUN PAN. **"Intelligent Impulse Finder: A Boosting Multi-kernel Learning Network Using Raw Data for Mechanical Fault Identification in Big Data Era."** ISA Transactions 107 (2020): 402-14. Web.

CHONG, H.Y. AND WONG, J. AND WANG, X. 2014. **An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment.** Automation in Construction. 44: pp. 152-162.

CORDELLA, A; TEMPINI, N.; **“E-government and organizational change: Reappraising the role of ICT and bureaucracy in public service delivery”**. *Government Information Quarterly*, 32 (3) (2015), pp. 279-286
<https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.03.005>

CORVER, Q., & ELKHUIZEN, G. (2014). **A Framework for Digital Business Transformation**. Cognizant, 1–10. Retrieved from <https://www.cognizant.com/InsightsWhitepapers/aframework-for-digital-business-transformation-codex-1048.pdf>

CUPERSCHMID, A. R. M.; GRACHET, M. G.; FABRÍCIO, M. M. **Realidade Aumentada como auxílio à montagem de parede em wood-frame**. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 266–276, 2015. DOI: 10.20396/parc.v6i4.8640947. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8640947>. Acesso em: 10 dez. 2021.

DAVE, B, BODDY, S & KOSKELA, L 2014, **“Challenges and opportunities in implementing lean and BIM on an infrastructure project”**. in 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013. The International Group for Lean Construction, pp. 741-750, 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brazil, 29/07/13. <<http://iglc.net/Papers/Details/888>>

DEMIRKAN, H.; SPOHRER, J. C.; WELSER, J. J.; **"Digital Innovation and Strategic Transformation,"** in *IT Professional*, vol. 18, no. 6, pp. 14-18, Nov.-Dec. 2016, doi: 10.1109/MITP.2016.115.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS. **“UK statistics on waste.”** Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/env23-uk-waste-data-and-management>> Acesso em: 08 set. 2021.

DOLAGE, D. A. R.; T. PATHMARAJAH. **“Mitigation of delays attributable to the contractors in the construction industry of Sri Lanka - consultants’perspective.”** *Engineer: Journal of the Institution of Engineers* 48 (2015): 21.

DURAKOVIC, B.; **"Design for Additive Manufacturing: Benefits, Trends and Challenges."** *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)* 6.2 (2018): 179. Web.

EASTMAN, C. M. (2008). **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors.** Hoboken, N.J.: Wiley

FERREIRA, TIAGO DE VASCONCELOS GONÇALVES; WEBER, ADRIANA DE OLIVEIRA SANTOS; **"ANÁLISE SITUACIONAL DA IMPLANTAÇÃO DO BIM COMO APOIO AO PROCESSO DE PROJETO: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE MACEIÓ-AL"**, p. 757-769. In: Anais do VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - TIC2015 [=ANTAC e Blucher Engineering Proceedings]. Porto Alegre: ANTAC; São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2357-7592, DOI 10.5151/engpro-tic2015-067

HAFFKE, I., KALGOVAS, B.J., BENLIAN, A., 2016. **"The role of the CIO and the CDO in an organization's digital transformation."** In: International Conference of Information. Systems, Dublin, Ireland.

HAN, KEVIN K; GOLPARVAR-FARD, M.; **"Potential of Big Visual Data and Building Information Modeling for Construction Performance Analytics: An Exploratory Study."** Automation in Construction 73 (2017): 184-98. Web.

HEATON, JAMES; PARLIKAD, A. K.; SCHOOLING, J.; **"Design and Development of BIM Models to Support Operations and Maintenance."** Computers in Industry 111 (2019): 172-86. Web.

HOWARD; R.; BJÖRK, B.C.; 2008. **"Building information modelling - Experts' views on standardisation and industry deployment."** Adv. Eng. Inform. 22, 2 (April, 2008), 271–280. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.aei.2007.03.001>

HUANG, DE-SHUANG; KANG-HYUN JO, et al. **"Intelligent Computing Theories and Application: 17th International Conference"**, ICIC 2021, Shenzhen, China, August 12–15, 2021, Proceedings, Part I (Lecture Notes in Computer Science Book 12836). Aug 9, 2020.

IBM. IBM Global business services. **"IBM Institute for Business Value – Digital Transformation."** (2011)

ISO. International Organization for Standardization, 2016. **ISO 19650 Organization and Digitization of Information About Buildings and Civil Engineering works, Including Building Information Modelling (BIM).**

KANE, G.C., 2017. **"Big data and IT talent drive improved patient outcomes at Schumacher Clinical Partners."** MIT Sloan Manage. Rev. 59 (1), 1–8.

KELLY, G., SERGINSON, M., LOCKLEY, S.R., DAWOOD, N., & KASSEM, M. (2013). **"BIM for facility management: a review and a case study investigating the value and challenges"**.

KOUTAMANIS, A. **"Dimensionality in BIM: Why BIM Cannot Have More than Four Dimensions?"**. Automation in Construction 114 (2020): 103153. Web.

KREIGER, E.L., KREIGER, M.A., & CASE, M.P. (2019). **"Development of the construction processes for reinforced additively constructed concrete. Additive Manufacturing."**

LIAO, CHIA-WEN, AND YENG-HORNG PERNG. **"Data Mining for Occupational Injuries in the Taiwan Construction Industry."** Safety Science 46.7 (2008): 1091-102. Web.

LOBANOVA, V. **Comparison of structural modeling in Open BIM Projects.** 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Civil And Construction Engineering, Saimaa University Of Applied Sciences, Saimaa, 2017.

LU, WEISHENG, GEORGE Q HUANG, AND HENG LI. **"Scenarios for Applying RFID Technology in Construction Project Management."** Automation in Construction 20.2 (2011): 101-06. Web.

LU, WEISHENG, XIAO LI, FAN XUE, RUI ZHAO, LIUPENGFEEI WU, AND ANTHONY G.O YEH. **"Exploring Smart Construction Objects as Blockchain Oracles in Construction Supply Chain Management."** Automation in Construction 129 (2021): 103816. Web.

MAHAJAN, G.; **"Applications of Drone Technology in Construction Industry: A Study 2012-2021.** International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249-8958 (Online), Volume-11 Issue-1, October 2021

MAHALINGAM, A., YADAV, A.K., & VARAPRASAD, J. (2015). **Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases.** Journal of Construction Engineering and Management-asce, 141, 05015006.

MCGIBNEY, A., REA, S.; PLOENNIGS, J., **"Open BMS - IoT driven architecture for the internet of buildings,"** IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2016, pp. 7071-7076, doi: 10.1109/IECON.2016.7793635.

MCKINSEY & COMPANY. **"The Next Normal in Construction"**. Mckinsey & Company. 2020. Web.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **"REINVENTING CONSTRUCTION: A ROUTE TO HIGHER PRODUCTIVITY"**. McKinsey Global Institute, 2017.

MORAIS, Greiceana Marques Dias de. **"Diagnosis of the unregulated dumping of construction and demolition residues in outlying neighborhoods of Uberlândia: subsidies for a sustainable administration."** 2006. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

MOTAMEDI, ALI, ZHE WANG, NOBUYOSHI YABUKI, TOMOHIRO FUKUDA, AND TAKASHI MICHIKAWA. **"Signage Visibility Analysis and Optimization System Using BIM-enabled Virtual Reality (VR) Environments."** Advanced Engineering Informatics 32 (2017): 248-62. Web.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2014.

NBS ENTERPRISES (2017). **"National BIM Report 2017"**. NBS Enterprises. Disponível em: <http://www.thenbs.com/specificationreport2017>

NGUYEN, T. A.; DO, S. T.; PHAM, T. A.; NGUYEN; M. C., **"Application of BIM and 3D laser scanning for quantity surveying and quality management in construction projects"**, AIP Conference Proceedings 2428, 030003 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0070845>

NWAIWU, F. (2018). **Review and Comparison of Conceptual Frameworks on Digital Business Transformation**. *Journal of Competitiveness*, 10(3), 86–100. <https://doi.org/10.7441/joc.2018.03.06>

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F.; 2016. **"Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0"**. *Comput. Ind.* 83, C (December 2016), 121–139. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>

OSMANI, M. **Design waste mapping: a Project life cycle approach. Proceedings of the ICE-Waste and Resource Management**, 166 (3), pp. 114- 127. 2013.

PAAVOLA, S. & MIETTINEN, R. (2013). **“Mediation in the age of information technology: Building information modelling as multifunctional instrumentality”**. A presentation at the Nordic Iscar 2013, 12.-14.6.2013, Kristianstad University, Kristianstad, Sweden.

PESSOA, S., A.S GUIMARÃES, S.S LUCAS, AND N. SIMÕES. **"3D Printing in the Construction Industry - A Systematic Review of the Thermal Performance in Buildings."** *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 141 (2021): 110794. Web.

RAHMAN, I.A., MEMON, A.H., MEMON, I., & AZMAN, N.I. (2014). **“BIM in Malaysian Construction Industry: Status, Advantages, Barriers and Strategies to Enhance the Implementation Level.”** *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 8, 606-614.

RAMOS, C. E. S., RODRIGUES, L. F. P., & MELLO, L. C. B. B. (2018). **“Aplicações da Indústria 4.0 na construção civil: uma revisão narrativa.”** VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, PR, Brasil.

REIS J., AMORIM M., MELÃO N., MATOS P. (2018) **“Digital Transformation: A Literature Review and Guidelines for Future Research”**. In: Rocha Á., Adeli H., Reis L.P., Costanzo S. (eds) *Trends and Advances in Information Systems and Technologies. WorldCIST'18 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 745. Springer, Cham.

SCOTT, DENIS J, TIM BROYD, AND LING MA. **"Exploratory Literature Review of Blockchain in the Construction Industry."** *Automation in Construction* 132 (2021): 103914. Web.

Shaughnessy, H. **"Creating Digital Transformation: Strategies and Steps."** *Strategy & Leadership* 46.2 (2018): 19-25. Web

SINGH, M. M.; SAWHNEY, A.; SHARMA, V.; **"Utilising Building Component Data from BIM for Formwork Planning."** *Construction Economics and Building* 17.4 (2017): 20-36. Web.

SOLIS, B.; **“The 2017 State of Digital Transformation”** (2017). Altimeter.

STEFFEN, JACOB H, JAMES E GASKIN, THOMAS O MESERVY, JEFFREY L JENKINS, AND IOPA WOLMAN. **"Framework of Affordances for Virtual Reality and Augmented Reality."** Journal of Management Information Systems 36.3 (2019): 683-729. Web.

TANG LULIANG, NIU LE, YANG XUE, ZHANG XIA, LI QINGQUAN, AND XIAO SHILUN. **"Urban Intersection Recognition and Construction Based on Big Trace Data."** Ce Hui Xue Bao 46.6 (2017): 770-79. Web.

TEPPER, OREN M, HAYEEM L RUDY, AARON LEFKOWITZ, KATIE A WEIMER, SHELBY M MARKS, CARRIE S STERN, AND EVAN S GARFEIN. **"Mixed Reality with HoloLens: Where Virtual Reality Meets Augmented Reality in the Operating Room."** Plastic and Reconstructive Surgery (1963) 140.5 (2017): 1066-070. Web.

TIGRE, P. B.; NORONHA, VITOR, B.; **"Do Mainframe à Nuvem: Inovações, Estrutura Industrial E Modelos De Negócios Nas Tecnologias Da Informação E Da Comunicação."** Revista De Administração (São Paulo) 48.1 (2013): 114-27. Web.

ULLAH, K., KHAN, M. S., LAKHIAR, M. T., VIGHIO, A. A. AND SOHU, S.; **"Ranking of Effects of Construction Delay: Evidence from Malaysian Building Projects"** Journal of Applied Engineering Sciences, vol.8, no.1, 2018, pp.79-84.

UNEP, United Nations Environment Programme. **Industry and Environment**, April – September. 2003.

VAN TONDER, C.; SCHACHTEBECK, C; NIEUWENHUIZEN, C.; BOSSINK, B.: **"A Framework for Digital Transformation and Business Model Innovation."** Management (Split, Croatia) 25.2 (2020): 111-32. Web.

VELDHOVEN, Z. V.; VAN THIENEN, J., **"Designing a Comprehensive Understanding of Digital Transformation and its Impact"** (2019). BLED 2019 Proceedings. 22. <https://aisel.aisnet.org/bled2019/22>

YANG, REBECCA, RON WAKEFIELD, SAINAN LYU, SAJANI JAYASURIYA, FENGLING HAN, XUN YI, XUECHAO YANG, GAYASHAN AMARASINGHE, AND SHIPING CHEN. **"Public and Private Blockchain in Construction Business Process and Information Integration."** Automation in Construction 118 (2020): 103276. Web.

ZAYCHENKO I.; SMIRNOVA A.; BORREMANS; **Digital transformation: the case of the application of drones in construction.** MATEC Web Conf. 193 05066 (2018) DOI: 10.1051/matecconf/201819305066