

Aplicação do *Virtual Design and Construction* - VDC: uma interface entre o BIM e AWP em edificações sustentáveis

Application of Virtual Design and Construction - VDC: an interface between BIM and AWP in sustainable buildings

Cristiane do Bom Conselho Sales Alvarenga, Mestre em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

e-mail: crisbcs@gmail.com

Rosemary do Bom Conselho Sales, Doutora em Engenharia Mecânica, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG).

e-mail: rosemary.sales@uemg.br

Rodrigo Barreto Caldas, Doutor em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

e-mail: caldas@dees.ufmg.br

Maria Teresa Paulino de Aguiar, Doutora em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

e-mail: teresa@ufmg.br

Resumo

As tecnologias digitais representam avanços para o setor da construção civil e podem promover o seu processo de transformação pela busca de uma edificação sustentável. Nesse sentido, estratégias como *Virtual Design and Construction* (VDC) integradas ao *Building Information Modeling* (BIM) e ao *Advanced Work Packaging* (AWP), destacam-se como potenciais caminhos para a criação um sistema de produção limpo, colaborativo e compartilhado, com maior eficiência no uso de recursos naturais como água, energia e materiais e melhoria na qualidade de vida das pessoas. Nesse artigo, foi feito um levantamento do estado da arte dos assuntos abordados e um estudo de caso real de práticas do VDC descrevendo os meios e os métodos utilizados na interface entre o BIM e AWP. Os resultados mostraram que a transformação do modelo de gestão tradicional permite a integração do BIM e AWP e pode promover a transformação do setor em todas as etapas de uma edificação com qualidade, produtividade, confiabilidade e segurança.

Palavras-chave: Construções Sustentáveis; BIM; AWP; VDC

Abstract

Digital technologies represent advancements for the construction sector and can promote its transformation process through the pursuit of sustainable building. In this sense, strategies such as Virtual Design and Construction (VDC) integrated with Building Information Modeling (BIM) and Advanced Work Packaging (AWP) stand out as potential paths for creating a clean, collaborative, and shared production system, with greater efficiency in the use of natural resources such as water, energy, and materials, and improvement in people's quality of life. In this article, a state-of-the-art survey of the addressed subjects was conducted, along with a real case study of VDC practices describing the means and methods used at the interface between BIM and AWP. The results showed that transforming the traditional management model allows the integration of BIM and AWP and can promote the transformation of the sector at all stages of a building with quality, productivity, reliability, and safety.

Keywords: Sustainable Buildings; BIM; AWP; VDC.

1. Introdução

Com a publicação do relatório “Os Limites do Crescimento” desde as décadas de 1970 o mundo tem se preocupado cada vez mais com a escassez de recursos naturais, aumento da poluição, desmatamento e os impactos sociais e ambientais decorrentes do acelerado crescimento industrial [1] [2]. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu os objetivos do desenvolvimento sustentável, os quais deveriam ser alcançados até 2030. Dentre esses objetivos destaca-se: construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização sustentável e fomentar a inovação [3]. Tal preocupação é relevante uma vez que o mercado global de construção e infraestrutura é avaliado em US\$ 2,72 trilhões de dólares, devendo atingir US\$ 3,69 bilhões até 2029, com taxa de crescimento anual de 6,27% [4]. Associado a esse elevado desempenho econômico a indústria da construção civil é responsável por vários impactos ambientais.

Neste contexto, os projetos e construções da próxima geração, devem buscar minimizar esses impactos negativos, com um melhor equilíbrio entre os prazos de construção e operação, reduzindo custos, além de atender as necessidades dos usuários no contexto da sua interação com o entorno [5]. Com isso os princípios de sustentabilidade devem ser incorporados aos processos das construções [6] e um dos caminhos para se alcançar tais metas seria a adoção da construção inteligente [7]. Por ser uma abordagem inovadora a construção inteligente possibilita otimizar os processos de análises das características físicas e funcionais das edificações, como previsões de desempenho energético e térmico, buscando melhorar o conforto e ao mesmo tempo o bem-estar dos usuários [8]. Dessa forma, o uso integrado de tecnologias digitais auxilia o processo de gestão e pode promover a transformação do setor em todas as etapas de uma edificação com qualidade, produtividade, confiabilidade e segurança. Rafsanjani e Nabizadeh [9] ressaltam que a pandemia de Covid 2019, impôs mudanças significativas nesse processo, isso porque houve uma necessidade crescente de adoção de tecnologia digitais em todos os setores empresariais para colaboração remota. Nesse cenário, as estratégias de VDC integradas ao BIM e ao AWP se apresentam como potencial recurso às novas estruturas de gerenciamento de projetos para criar um sistema de produção colaborativo, compartilhado e sustentável.

O objetivo desse estudo foi analisar a contribuição das práticas AWP integradas ao BIM para maximizar os resultados da aplicação do *Virtual Design and Construction* (VDC). Para tal foi feita uma pesquisa exploratória, descritiva e prescritiva, para a compreensão detalhada do que está sendo estudado [10] [11]. Com base no estado da arte buscou-se identificar no mercado de construção uma aplicação prática dos meios e dos métodos utilizados, para melhorar a performance das empresas em projetos de grande complexidade, com inovação e sustentabilidade [12]. Desse modo, para a aplicação prática escolhida será apresentado um estudo de caso com uso das duas metodologias integradas BIM e AWP para avaliar sua contribuição no VDC.

2. Transformação Digital

A transformação digital permite que as empresas alcancem maior eficiência e flexibilidade, otimizem os processos produtivos, gerem propostas de valor para os ecossistemas com inovação e respondam em tempo hábil às necessidades do mercado [13], [14], [15]. Além disso, é essencial que as empresas mantenham a sua competitividade no mercado e permaneçam no caminho da inovação tecnológica [16]. Dessa forma, a busca por soluções digitais integradas que suportem esse processo, pode alavancar resultados sustentáveis em projetos de capital e infraestrutura. De acordo com a ONU, até 2050 a população mundial será de 9,7 bilhões e a indústria da construção deve buscar formas mais inteligentes e eficazes de projetar e construir

[17]. Alinhado com as tendências globais as empresas devem direcionar esforços em projetos que estejam conectados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dessa forma, para garantir um planeta vivo e uma vida de qualidade para as gerações futuras, todos devem colaborar digitalmente para superar as barreiras culturais. A meta deve ser, criar modelos de gestão mais duradouros, além de refletir sobre diferentes formas de obter valor e recompensas nos projetos [18]. Nesse sentido, o setor da construção se esforça para inovar e incorporar a seus processos as novas tecnologias digitais, de modo a melhorar os sistemas operacionais e de negócios.

Nessa perspectiva, práticas que corroboram com a economia, aumento de produtividade e sustentabilidade, ganham força em todo o mundo. A integração transdisciplinar do *Building Information Modeling* (BIM), o *Advanced Work Packaging* (AWP) e a *Internet of Things* (IoT) contribuem para melhorar os resultados em projetos de grande complexidade. Essas práticas incorporadas no ciclo de vida do empreendimento, nas fases iniciais de projeto (conceitual, básico e de detalhamento), na construção, na operação e manutenção de sistemas estruturais industriais, favorecem a comunicação e a colaboração entre as equipes. Isso reflete na melhoria de produtividade e na redução de prazos e custos. Segundo Weiking *et al.* [19] a transição para a digitalização das indústrias é crucial para as empresas manterem a vantagem competitiva e aproveitarem novas oportunidades. Gierej [20] analisa o impacto que a IoT tem na economia e nos modelos de negócio. Em uma perspectiva de ecossistema, essas práticas devem influenciar as estratégias de tecnologias da informação, em uma sucessão de abordagens transformacionais da Indústria 4.0 [21]. Com esse desenvolvimento crescente a indústria da construção civil está sendo impulsionada para adotar ferramentas que sejam capazes de apoiar os processos de produção em plataformas integradas, o que está redefinindo a forma como as empresas operam.

2.1 *Building Information Modeling (BIM)*

Embora não exista uma única definição para a metodologia BIM diferentes autores o conceituaram e mostram seu valor ao longo dos anos [22], [23], [24]. Na prática o BIM é um processo colaborativo baseado em modelos digitais que contemplam informações e dados sobre um projeto de construção ao longo de seu ciclo de vida. Essa abordagem compreende não apenas a geometria tridimensional dos elementos, mas fornece informações sobre propriedades, relações e as suas características [25], [26], [27]. Esses atributos podem fornecer dados como: *tag*, dimensões, elevações, coordenadas, peso, materiais, *status*, empacotamentos, fases de instalações entre outras atividades, necessárias para a engenharia, construção e operação. No entanto, o BIM usualmente fornece dados estáticos do ambiente construído e não pode ser atualizado em tempo real sem fontes de dados adicionais [28]. Com a chegada da IoT, entendida como interconexões de dispositivos e sensores capazes de realizar trocas de informações em diferentes plataformas [29], possibilitou a detecção e uma maior integração e sincronização de dados. Estudos de Aram e Eastman [30] mostram que as ferramentas de modelagem BIM integradas a IoT podem promover um eficiente gerenciamento do ciclo de vida da construção. Assim, o BIM e a IoT podem auxiliar no monitoramento em tempo real do processo [31], [32], [33], com melhor colaboração entre as partes interessadas, eficiência dos processos, redução de erros e retrabalho. No Brasil a adoção do BIM teve um significativo crescimento nos últimos anos. O Governo Federal criou em 2017 o Comitê Estratégico de Implementação do BIM para impulsionar a sua utilização em nível nacional. Em 2020 publicou o Decreto nº 10.306 com diretrizes para promover a transformação digital na indústria da construção e mais recente a Lei de Licitações, nº 14.133 de 2021 onde estabelece que “nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, será adotado a tecnologia BIM ou processos similares, mais avançados que venham a substituí-lo” [34]. Contudo, o BIM no ambiente de construção ainda apresenta

limitações, mas o seu uso desde a concepção do projeto irá facilitar o trabalho fornecendo informações qualificadas para controlar o empreendimento. Com foco nos estágios iniciais, a integração transdisciplinar e a incorporação de outras práticas aos processos BIM como o *Advanced Work Packaging* (AWP) se complementam no atendimento aos requisitos de sustentabilidade das construções [35].

2.2 *Advanced Work Packaging* (AWP)

O AWP é uma abordagem sistemática para melhorar a capacidade, a produtividade e a previsibilidade das construções, por meio da integração das atividades, ao longo do ciclo de vida do projeto. Ele foi criado pelo *Construction Industry Institute* (CII) para superar os desafios de custos e prazos por meio do planejamento de engenharia, orientado pelo sequenciamento da construção [36]. O AWP se consolidou como um *framework* que pode ser utilizado para dividir o escopo do projeto em pacotes gerenciáveis de trabalho com foco no planejamento e execução, a fim de alcançar maior produtividade e maior previsibilidade [37]. Segundo a norma industrial RT-272-1 [38] os benefícios da adoção do AWP são percebidos tanto no aumento da produtividade quanto na redução dos custos. Embora, o processo de divisão em pacotes seja feito de forma distinta para cada projeto, existe um consenso na formalização dos termos relevantes da metodologia. Dessa forma, o CII classificou os pacotes de trabalho em: CWA, CWP, EWP, PWP e IWP conforme apresentado na Figura 1.

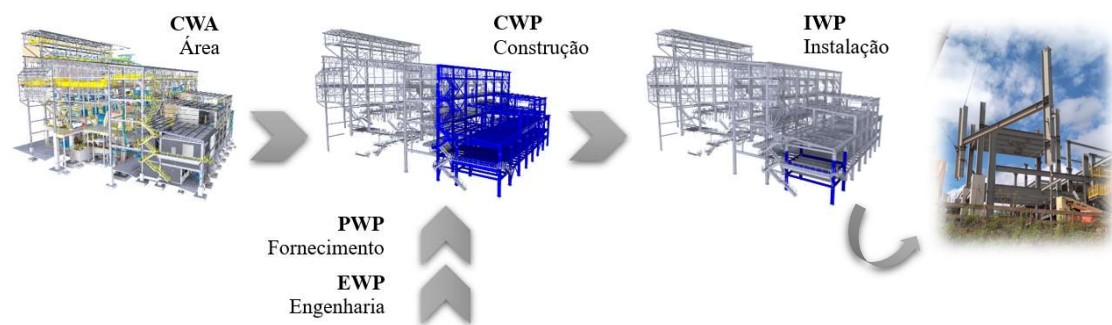


Figura 1: Esquema de classificação dos pacotes de trabalho na metodologia AWP em projeto de capital.
Fonte: elaborado pelos autores.

O *Construction Work Area* (CWA) é definido por limites físicos e lógicos estabelecidos pelo plano de execução do projeto, para se relacionar com as divisões do escopo. A CWA se divide em disciplinas (mecânica, tubulação, elétrica, dentre outros) e atividades que formam o *Construction Work Package* (CWP), uma divisão lógica e controlável do trabalho no âmbito da construção. O CWP corresponde as atividades listadas no cronograma master do projeto, o *Installation Work Package* (IWP) é subdivisão do CWP e deve ser definida na fase de construção, para determinar um fluxo de trabalho programado para um período de uma a duas semanas. Os *Engineering Work Packages* (EWP) estão diretamente relacionados a um CWP e formam o conjunto necessário e suficiente de documentos técnicos de engenharia para que o trabalho seja executado em sua totalidade. De forma semelhante, o *Procurement Work Package* (PWP) refere-se as entregas de fornecimento para um determinado CWP, contendo todos os materiais necessários para executar as atividades na construção na quantidade correta e no momento adequado [39]. Os pacotes de trabalho em suas diferentes fases do empreendimento, ou seja, CWA (área de construção), o EWP (a engenharia), PWP (o fornecimento), CWP (a construção) e IWP (a instalação) reduzem as atividades que não agregam valor, reduzem os desperdícios, geram menos resíduos e os custos são mais baixos [40]. Sob essa lógica a metodologia AWP permite que as equipes de suprimentos priorizem as aquisições e as entregas

dos PWP's de acordo com o sequenciamento de execução da obra, o que contribui para melhorar a produtividade e previsibilidade em Projetos de Capital [41], [42]. Contudo, a transformação digital não depende somente das tecnologias BIM e AWP, mas também da melhoria dos processos e da capacitação das pessoas e das empresas que pode ser alcançado fazendo uso de práticas como o VDC.

2.3 Virtual Design and Construction (VDC)

O VDC é uma estrutura de gerenciamento de projetos desenvolvida no Centro de Engenharia de Instalações Integradas (CIFE) da Universidade de *Stanford*. O VDC tem como objetivo melhorar o planejamento, concepção, construção e operação de projetos de construção por meio da gestão combinada e por meio métodos de colaboração, gestão de produção e tecnologias digitais. Ele favorece estratégias de pesquisa e desenvolvimento para melhorar a confiabilidade, produtividade, inovação e sustentabilidade na construção [43]. Essa abordagem é especialmente importante em projetos de grande complexidade, pois integra tecnologias digitais e práticas, juntamente com conceitos de *Lean Construction*, para otimizar o ciclo de vida de um projeto, desde a concepção até a entrega [44]. No projeto a adoção da modelagem BIM permite uma melhor compatibilização entre disciplinas, detecção de interferências (*clash detection*), quantificação de materiais, planejamento da obra 4D, previsão de custos 5D, entre outros. Na construção é possível melhorar a gestão de materiais, tanto no recebimento, diligenciamento, armazenamento e entrega de materiais em campo, com melhora nos índices de produtividade *Key Performance Indicators* (KPI's). Ele ainda pode auxiliar na operação e manutenção das plantas industriais [45]. Assim, o VDC utiliza ferramentas para melhorar o design, o planejamento, a construção, a gestão de recursos, bem como a visualização, quantificação e gestão de dados, principalmente em projetos de maior escala [46]. De acordo com Rischmoller [47] no VDC o gerenciamento da produção do projeto é utilizado para organizar e controlar as atividades de trabalho. Quando comparado aos métodos convencionais, ele aplica ferramentas e técnicas normalmente empregadas na gestão industrial e de produção (incluindo materiais, informações, equipamentos e mão de obra) e busca-se com isso, otimizar o desempenho para alcançar avanços na qualidade, reduzindo custos e prazo, eliminando o desperdício, melhorando a produtividade nas atividades realizadas. Autores como Fosse, Ballard, e Fischer [44] afirmam que esta abordagem utiliza novas tecnologias colaborativas e equipes multidisciplinares, para melhorar a comunicação entre as diferentes partes interessadas do projeto nas fases de pré-planejamento, design, construção e os modelos VDC favorecem o acesso aos dados compartilhados aos envolvidos (proprietários, arquitetos, engenheiros, empreiteiros, dentre outros).

Na Figura 2 foi demonstrada a estrutura do VDC pela integração de ferramentas, processos e equipes alinhadas a um objetivo comum (que atende aos interesses do projeto e do cliente).



Figura 2: Estrutura VDC seguindo conceito da *Stanford University*. Fonte: Adaptado de Rafsanjani e Nabizadeh (2023).

O *Project Production Management* (PPM) refere-se aos processos utilizados para desenvolver as atividades suportadas por ferramentas de modelagem BIM. O termo "BIM+" na estrutura VDC é atribuído a aplicativos BIM avançados que permitem compreender, controlar e aprimorar a entrega do projeto definindo a sua variabilidade, planejamento do fluxo de trabalho e recursos necessários. O *Integrated Concurrent Engineering* (ICE) tem o intuito de organizar as equipes multidisciplinares em reuniões para avaliarem as atividades de forma rápida e com isso reduzir o tempo de tomada de decisões. Busca-se com isso, aprimorar a qualidade dos resultados e uma melhor integração entre as diferentes disciplinas. Além disso, modelos VDC permitem estimar o desempenho e comparar o que foi previsto versus realizado, para alcançar os objetivos do projeto [48]. A metodologia BIM é um processo essencial nas sessões de ICE, pois permite apresentar os desafios do projeto para as equipes e clientes por meio da aquisição de dados e visualizações 3D e com isso apoiar as tomadas de decisões. O VDC alinha principalmente novas tecnologias baseadas em BIM para repensar os processos de trabalho e para alcançar a maior eficiência na concepção e construção de projetos. Isso exige a aplicação de ferramentas adequadas aos processos otimizados, coordenados por pessoas treinadas, capacitadas e engajadas em um propósito comum. Para garantir o cumprimento dos objetivos torna-se necessário monitorar métricas específicas. Devem ser escolhidos indicadores-chaves, *Key Performance Indicators* (KPI) com base nos objetivos do cliente (desempenho, operação, sustentabilidade e segurança) nos objetivos de projeto (tempo, custos, número de questões resolvidas) e nos fatores gerenciáveis (qualidade e satisfação). Essas métricas são importantes para identificar as correções necessárias visando uma melhoria contínua do processo.

As metodologias BIM e VDC possuem muitos pontos em comum e, portanto, costumam ser confundidas. Ambas se baseiam na colaboração e na comunicação inteligente, contudo, o VDC é mais abrangente, pois utiliza modelos BIM para planejar os processos de construção, englobando elementos como orçamento, estimativa de custos e planejamento (4D, 5D, dentre outros). Permite também que às equipes interajam para atingir de forma mais eficiente os objetivos esperados. Rafsanjani e Nabizadeh [9] afirmam que a indústria da construção está passando por mudanças tecnológicas significativas e que elas estão moldando o seu futuro. Neste sentido é necessário explorar os caminhos para alcançar maior produtividade, com uso de ferramentas integradas ao VDC, da mesma forma a modelagem BIM associada ao AWP podem promover maior eficácia na execução das atividades, orientado pelo sequenciamento da construção, nos custos e nos prazos planejados.

3. Estudo de caso

O projeto selecionado foi uma planta industrial - Salobo III da Vale, onde a autora correspondente do artigo participou como integrante da equipe de engenharia. O Projeto consiste em uma planta de beneficiamento de minério de ferro localizado no estado do Pará no Brasil. A planta possui capacidade de produção de 12Mtpa, sendo composta por unidades de beneficiamento como britagens (primária e secundária), transportadores de correia de longa distância, moagem, flotações, filtração, subestações entre outras instalações necessárias [49]. A construção teve início em 2019 com investimento de US\$ 1,1 bilhão e com a primeira fase concluída obteve-se a capacidade de processamento, ultrapassando 32Mtpa [50]. Na Figura 3 pode ser visualizado parte do modelo BIM federado do projeto do estudo de caso. Durante a fase de planejamento, foi feito um diagnóstico junto às lideranças do projeto e das contratadas para avaliar as rotinas de gestão, maturidade do projeto, dimensionamento de equipes e os principais desafios a serem vencidos. Detectou-se, com isso, a necessidade de um trabalho colaborativo que direcionasse a estratégia do projeto com o modelo federado conectado a um planejamento estruturado e reconhecido por todos.

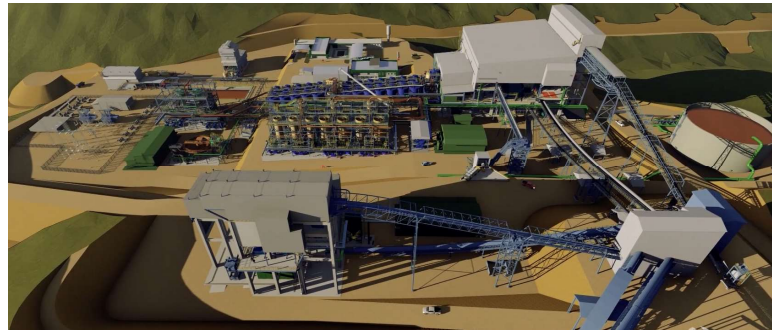


Figura 3: Modelo BIM federado do complexo Salobo III da Vale

Para que o modelo pudesse funcionar adequadamente, foi necessário consolidar alguns pilares como o uso das metodologias BIM e AWP integradas aos processos e ao conceito de VDC possibilitando gerar rápidas decisões e otimizando os processos de gestão. O planejamento foi fundamentado na metodologia AWP nos conceitos de padronização codificação e nível de detalhamento dos pacotes de trabalho. O modelo de gestão fortaleceu os conceitos integrando e direcionando o fluxo de trabalho entre engenharia, fornecimento e construção. A equipe responsável pela engenharia digital desenvolveu aplicativos para fornecer informações atualizadas dos pacotes de trabalho e de instalação para a gestão de restrições, área de trabalho de programação de campo integrada e sistema de digitalização das rotinas de campo. Com intuito de gerar a colaboração das partes envolvidas, foram definidas rotinas de liderança e operacionais com o intuito de aumentar a produtividade e proporcionar decisões baseadas em dados atualizados (*Look Ahead Planning*), *Pull Planning*, programação semanal, *Check-in/Check-out*, retrospectiva e *Gemba Walk*. O uso dos aplicativos, com base nos modelos BIM, forneceram informações precisas melhorando as tomadas de decisões. A partir do engajamento das equipes foi montada uma estrutura com cinco diretrizes (Figura 5) para aplicar a prática baseadas nos objetivos do cliente, seguido pelos objetivos do projeto, metodologias BIM e AWP e a equipe de engenharia simultânea e integrada (ICE), assim como os processos de gestão da produção (PPM). Tais diretrizes buacam obter maior eficiência na construção de projetos de capital e após concluído todas as diretrizes o projeto é finalizado.

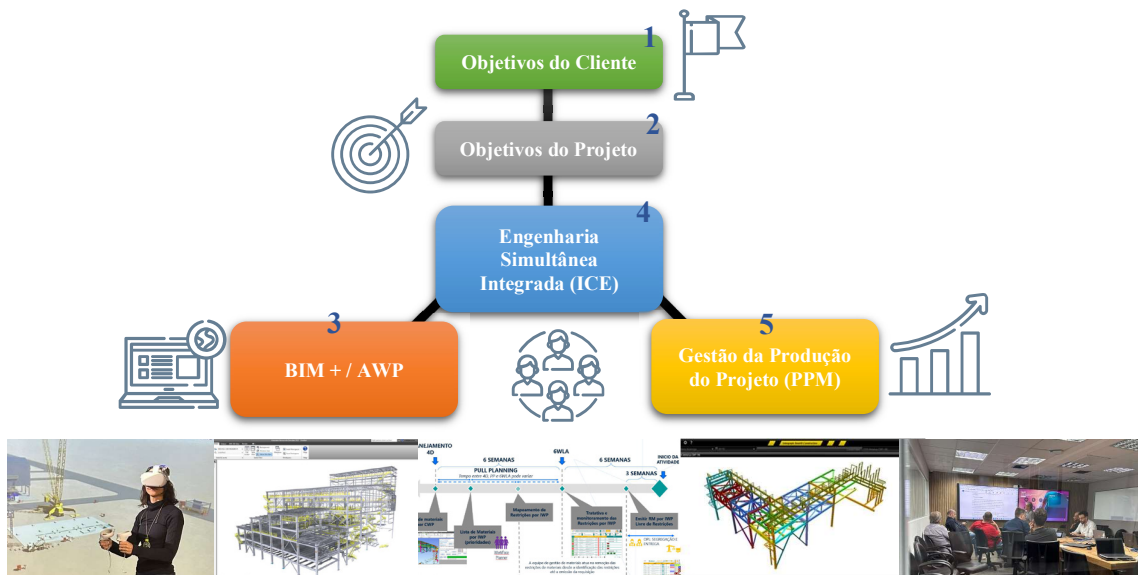


Figura 4: Aplicação do VDC em projeto de capital. Fonte: elaborado pelos autores

4. Resultados

Como resultado do estudo de caso, percebe-se que a transformação do modelo de gestão tradicional para o modelo colaborativo com um planejamento estruturado e reconhecido por todos, viabilizou a integração das metodologias BIM e AWP no contexto do VDC e favoreceu a mudança de *mindset* da liderança. Três instâncias foram articuladas durante a sua implementação, tecnologia, processo e cultura. Na instância tecnológica, os *softwares* atualmente em uso na indústria foram resumidos e categorizados por tipo, função, fase e proprietário/usuário. Na instância do processo, os procedimentos de utilização e funcionamento destas tecnologias ao longo do projeto foram definidos pelos gestores. O papel dos clientes e partes interessadas, foram consideradas nos procedimentos adotados. A instância cultura, tratou das mudanças trazidas pela adoção do VDC para a indústria da construção industrial, juntamente com os meios para promover a sua adoção. Menciona-se aqui a necessidade de apoio das lideranças e as decisões baseadas em fatos e soluções multidisciplinares aumentou o nível de aderência do planejado em relação ao executado o que possibilitou desenvolver as cinco diretrizes:

1) objetivos do cliente: foram estabelecidos inicialmente de forma clara, específica e mensurável, para serem alcançados na fase de operação e manutenção - aumento das vendas e das receitas, redução de custos de operação OpEx, aumento no número de clientes, redução das emissões de carbono (Net Zero); 2) objetivos do projeto: foram definidos para serem alcançados ao final da construção: gastos dentro do previsto no CapEx, nos prazos estabelecidos no cronograma, com qualidade nas entregas e segurança na execução; 3) metodologias BIM e AWP: o BIM adotado na fase inicial de projeto permitiu estruturar o modelo e toda a documentação técnica necessária, considerando os atributos do AWP estabelecidos em reuniões de definição do caminho da construção (*PoC – Path of Construction*). Com base nessas informações, deu-se início a modelagem das edificações apoiada na estratégia a ser adotada na construção. As divisões em CWP's no desenvolvimento do projeto de estruturas metálicas, facilitaram a previsão de intertravamentos provisórios na fase de montagem eletromecânica. As colunas foram listadas considerando a ordem de montagem e as ligações foram indicadas nas vigas que chegavam nas colunas. Para garantir a exequibilidade da divisão por CWP foram previstas juntas de dilatação, além de outros artifícios, quando aplicáveis. As memórias de cálculo e as planilhas de quantitativos de materiais foram elaboradas por CWP (e não por edificações ou códigos de ativos) o que permitiu a gestão integrada e melhores controles nas etapas de suprimentos, fabricação, diligenciamento e inspeção junto aos fornecedores, montadoras e demais empreiteiros; 4) *Integrated Concurrent Engineering* (ICE): foram elaboradas sessões colaborativas para tomada de decisões que viabilizaram uma engenharia simultânea integrada, direcionada por contexto com foco na construção. As equipes multidisciplinares se reuniram para avaliar as atividades buscando uma melhor integração, reduzindo o tempo de tomada de decisões e aprimorando a qualidade dos resultados. Nelas foram definidos os papéis e as responsabilidades dos participantes, as pautas técnicas específicas, o planejamento detalhado. As rotinas de lideranças e operacionais contribuíram para a colaboração das partes envolvidas e o comprometimento das equipes. Os dados utilizados nas rotinas de gestão de prontidão foram atualizados em tempo real com acompanhamento de métricas e planos de ações; 5) processos de gestão: para mapeamento e detecção de oportunidades nos processos de trabalho, foi utilizado o conceito de ciências de operações no PPM. O planejamento foi fundamentado na metodologia AWP e os conceitos de padronização codificação e nível de detalhamento dos pacotes de trabalho, foram disseminados desde os fornecedores até as frentes de serviço. Aplicativos desenvolvidos por uma equipe de engenharia digital integrados ao BIM/IoT, permitiram o acompanhamento em tempo real dos pacotes de

instalação (IWP's). O *Look Ahead Planning*, (*Pull Planning*, Programação semanal, *Check-in/Check out*, retrospectivas, visitas no campo) otimizou as rotinas de campo com a digitalização e o acompanhamento online das restrições.

Ao final, as diretrizes foram discutidas em uma sessão de fechamento da prática, direcionada aos membros das equipes. Nessas sessões foram obtidos *feedbacks*, opiniões e pontos de vistas abrangentes sobre a implementação das metodologias, além de identificar pontos de melhoria e necessidades de treinamentos e/ou habilidades relacionadas ao trabalho.

5. Considerações Finais

A partir do levantamento do estado da arte e do estudo de caso para entendimento geral da adoção do BIM e AWP no contexto do VDC, pode-se traçar algumas considerações finais. A adoção de tecnologias digitais na indústria da construção se apresenta como uma oportunidade para promover inovações no ambiente construído, sendo necessário a adequação das empresas ao cenário atual. A gestão de projetos complexos, a partir de estratégias e tecnologias digitais, podem trazer mais transparência, previsibilidade, melhorar a qualidade e a segurança cumprindo o cronograma e as estimativas de custos, além de reduzir desperdícios e retrabalhos. O VDC transcende a utilização das tecnologias digitais ao incorporar o propósito trazido à luz pelos objetivos do cliente e do projeto. No contexto das construções sustentáveis os esforços empreendidos pelas organizações precisam ir além da lucratividade e necessitam superar as barreiras culturais. A engenharia tem um papel importante na elaboração das informações e da documentação técnica para o uso das metodologias BIM e AWP. Ao incorporar conceitos de *Lean Construction*, como em uma “linha de produção” são reduzidos os desperdícios e o volume de materiais. Ainda existe uma lacuna entre empresas projetistas e fornecedores, com relação a maturidade digital dificultando a interoperabilidade das informações. As rotinas de lideranças e operacionais (ICE) contribuem para a colaboração das partes interessadas e o comprometimento das equipes. A adoção de aplicativos conectados por IoT permite a troca de informações em tempo real e um melhor acompanhamento dos pacotes de instalação. Os modelos de gestão em VDC podem proporcionar uma mudança de mentalidade das lideranças. Torna-se importante definir e monitorar o progresso do projeto ao longo dos objetivos de produção por métricas e planos de ação. A disponibilidade de recursos e as restrições, juntamente com a gestão ambiental, são práticas estratégicas (PPM), pois buscam a redução do desperdício, a eficiência organizacional e a sustentabilidade das construções.

Percebe-se ainda que a transformação digital não depende apenas das tecnologias como o BIM, IoT, o AWP e o VDC, ela é uma estrutura viva que deve evoluir enquanto mantém seus princípios e conceitos fundamentais. As aplicações tecnológicas precisam evoluir pelas novas tendências sobretudo na busca por melhoria dos processos de gerenciamento de produção (PPM) e capacitação das pessoas, isso permite a condução de uma engenharia simultânea integrada (ICE) onde todos estejam engajados, inclusive às comunidades locais, em um objetivo comum rumo ao crescimento sustentável.

Destaca-se ainda, que este estudo teve como objetivo avaliar o nível de adoção das tecnologias BIM e AWP em uma planta de mineração e os resultados podem ser limitados até certo ponto, devido ao tamanho do projeto. Também se ressalta os impactos causados pela pandemia de Covid 2019, que impôs mudanças significativas na forma de interação entre as pessoas e pela necessidade de adoção acelerada de tecnologia para colaboração remota. Entretanto, as diretrizes aqui apresentadas podem ser utilizadas para estabelecer uma referência de compreensão geral para adoção das práticas de BIM, AWP e VDC em outros projetos em regiões do Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Vale, AtkinsRéalis e a Verum Partners pelo suporte técnico na construção deste artigo, e ao CNPq, CAPES, FAPEMIG, pelo apoio a pesquisa.

Referências

- [1] S. Gao, F. Meng, Z. Gu, Z. Liu, and M. Farrukh, “Mapping and Clustering Analysis on Environmental, Social and Governance Field a Bibliometric Analysis Using Scopus,” *Sustainability*, vol. 13, no. 13, p. 7304, Jun. 2021, doi: 10.3390/su13137304.
- [2] D. H. Meadows, J. Randers, and D. Meadows, *Limites do crescimento: um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade*, 2 ed. São Paulo: Perspectiva, 1978.
- [3] United Nation, “The 17 Goals: Sustainable Development.” Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals>
- [4] Infrastructure Sector Market Size & Share Analysis, “Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029)”, Accessed: Jan. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/infrastructure-sector>
- [5] S. Andersson *et al.*, “Sustainable development—Direct and indirect effects between economic, social, and environmental dimensions in business practices,” *Corp Soc Responsib Environ Manag*, Mar. 2022, doi: 10.1002/csr.2261.
- [6] S. Chen, Y. Song, and P. Gao, “Environmental, social, and governance (ESG) performance and financial outcomes: Analyzing the impact of ESG on financial performance,” *J Environ Manage*, vol. 345, p. 118829, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118829.
- [7] K. Liu, Q. Meng, Q. Kong, and X. Zhang, “Review on the Developments of Structure, Construction Automation, and Monitoring of Intelligent Construction,” *Buildings*, vol. 12, no. 11, p. 1890, Nov. 2022, doi: 10.3390/buildings12111890.
- [8] A. G. Di Stefano, M. Ruta, and G. Masera, “Advanced Digital Tools for Data-Informed and Performance-Driven Design: A Review of Building Energy Consumption Forecasting Models Based on Machine Learning,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 24, p. 12981, Dec. 2023, doi: 10.3390/app132412981.
- [9] H. N. Rafsanjani and A. H. Nabizadeh, “Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin,” *Energy and Built Environment*, vol. 4, no. 2, pp. 169–178, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.enbenv.2021.10.004.
- [10] A. C. Gil, *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*, 7ª Ed. Atlas Exatas, Humanas, Soc (Grupo Gen), 2022.
- [11] M. Feferbaum, *Metodologia da Pesquisa em Direito: técnicas e abordagens para elaboração de monografias, dissertações e teses.*, 3ª Edição. Saraiva Jur, 2022.
- [12] M. Hanisch, “Prescriptive Theorizing in Management Research: A New Impetus for Addressing Grand Challenges,” *Journal of Management Studies*, Jan. 2024, doi: 10.1111/joms.13035.
- [13] M. M. Feliciano-Cestero, N. Ameen, M. Kotabe, J. Paul, and M. Signoret, “Is digital transformation threatened? A systematic literature review of the factors influencing firms’ digital transformation and internationalization,” *J Bus Res*, vol. 157, p. 113546, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.jbusres.2022.113546.
- [14] V. Alcácer and V. Cruz-Machado, “Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems,” *Engineering Science and Technology, an*

- International Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 899–919, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2019.01.006.
- [15] M. M. Queiroz, S. Fosso Wamba, M. C. Machado, and R. Telles, “Smart production systems drivers for business process management improvement,” *Business Process Management Journal*, vol. 26, no. 5, pp. 1075–1092, Feb. 2020, doi: 10.1108/BPMJ-03-2019-0134.
- [16] M. Rachinger, I. Korajman, and C. Ropposch, *Systematic literature review of business model innovation in business ecosystems*. 2019.
- [17] ONU, “Organização das Nações Unidas. ONU News, Perspectiva Global Reportagens Humanas,” *Desenvolvimento Econômico*, 2019, Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://news.un.org/pt/story/2019/04/1666621>
- [18] IPA, “Transforming Infrastructure Performance Roadmap to 2030,” 2021. Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1016726/IPA_TIP_Roadmap_to_2030_v6_1.pdf
- [19] J. Weking, M. Stöcker, M. Kowalkiewicz, M. Böhm, and H. Krcmar, “Leveraging industry 4.0 – A business model pattern framework,” *Int J Prod Econ*, vol. 225, p. 107588, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.107588.
- [20] S. Gierej, “The Framework of Business Model in the Context of Industrial Internet of Things,” *Procedia Eng*, vol. 182, pp. 206–212, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.166.
- [21] R. Woodhead, P. Stephenson, and D. Morrey, “Digital construction: From point solutions to IoT ecosystem,” *Autom Constr*, vol. 93, pp. 35–46, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.05.004.
- [22] R. Sacks, C. EASTMAN, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3rd ed. 2018.
- [23] R. Teulier and M. Bagieu, *Building Information Modeling: Shared Modeling, Mutual Data, the New Art of Building*. Wiley, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=q1XrEAAAQBAJ>
- [24] L. Li, J. Yuan, M. Tang, Z. Xu, W. Xu, and Y. Cheng, “Developing a BIM-enabled building lifecycle management system for owners: Architecture and case scenario,” *Autom Constr*, vol. 129, p. 103814, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103814.
- [25] S. Aram and C. Eastman, “Integration of PLM Solutions and BIM Systems for the AEC Industry,” Aug. 2013. doi: 10.22260/ISARC2013/0115.
- [26] Y. Zhang, X. Jiang, C. Cui, and M. Skitmore, “BIM-based approach for the integrated assessment of life cycle carbon emission intensity and life cycle costs,” *Build Environ*, vol. 226, p. 109691, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109691.
- [27] A. Nikologianni, M. Mayouf, and S. Gullino, “Building Information Modelling (BIM) and the impact on landscape: A systematic review of evolvments, shortfalls and future opportunities,” *Cleaner Production Letters*, vol. 3, p. 100016, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.clpl.2022.100016.
- [28] S. Tang, D. R. Shelden, C. M. Eastman, P. Pishdad-Bozorgi, and X. Gao, “A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends,” *Autom Constr*, vol. 101, pp. 127–139, May 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.01.020.
- [29] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013, doi: 10.1016/j.future.2013.01.010.

- [30] S. Aram and C. Eastman, “Integration of PLM Solutions and BIM Systems for the AEC Industry,” Aug. 2013. doi: 10.22260/ISARC2013/0115.
- [31] B. Dave, A. Buda, A. Nurminen, and K. Främling, “A framework for integrating BIM and IoT through open standards,” *Autom Constr*, vol. 95, pp. 35–45, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.022.
- [32] D. Lee, G. Cha, and S. Park, “A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using BIM,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 17, no. 6, pp. 807–814, Jun. 2016, doi: 10.1007/s12541-016-0099-4.
- [33] C. Z. Li, F. Xue, X. Li, J. Hong, and G. Q. Shen, “An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction,” *Autom Constr*, vol. 89, pp. 146–161, May 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.01.001.
- [34] W. W. B. Sodré, “Tecnologia BIM: A importância do decreto 10306 na democratização da metodologia no país,” *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, pp. 66–85, Dec. 2021, doi: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/decreto-10306.
- [35] Y. S. Halala and A. R. Fayek, “A framework to assess the costs and benefits of advanced work packaging in industrial construction,” *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 46, no. 3, pp. 216–229, 2019, doi: 10.1139/cjce-2018-0072.
- [36] A. Shamshiri, K. R. Ryu, and J. Y. Park, “Text mining and natural language processing in construction,” *Autom Constr*, vol. 158, p. 105200, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2023.105200.
- [37] O. Hamdi, “Advanced Work Packaging from project definition through site execution: driving successful implementation of WorkFace Planning,” Master of Science in Engineering, University of Texas, 2013. [Online]. Available: <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/21384>
- [38] CII, “Construction Industry Institute and Construction Owners Association (COAA) Joint Venture A Summary of the Construction Industry Institute - RS-272 Studies on Work Packaging Increased Safety , Productivity , and Predictability,” 2013.
- [39] AWP Institute, “Advanced Work Packaging Open Knowledge Base .” Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.workpackaging.org/single-post/advanced-work-packaging>
- [40] C. P. Schimanski, G. P. Monizza, C. Marcher, and D. T. Matt, “Conceptual foundations for a new lean BIM-based production system in construction,” *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, no. July, pp. 877–888, 2019, doi: 10.24928/2019/0106.
- [41] E. S. SCOTT HOOD, E. L. ISATTO, and C. T. FORMOSO, “Sistema Last Planner X Advanced Work Packaging,” *XI Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção*, vol. 11, no. 3, pp. 1–7, 2019.
- [42] P. Dallasega, E. Rauch, and C. Linder, “Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review,” *Comput Ind*, vol. 99, pp. 205–225, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.03.039.
- [43] CIFE, “Center for Integrated Facility Engineering.” Accessed: Jan. 28, 2024. [Online]. Available: <https://cife.stanford.edu/>
- [44] R. Fosse, G. Ballard, and M. Fischer, “Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice,” Jul. 2017, pp. 499–506. doi: 10.24928/2017/0159.
- [45] L. Da Xu, E. L. Xu, and L. Li, “Industry 4.0: state of the art and future trends,” *Int J Prod Res*, vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, Apr. 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.

- [46] M. Aslam, Z. Gao, and G. Smith, “Integrated implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and lean project delivery system (LPDS),” *Journal of Building Engineering*, vol. 39, p. 102252, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.102252.
- [47] L. Rischmoller, D. Reed, A. Khanzode, and M. Fischer, “Integration Enabled by Virtual Design & Construction as a Lean Implementation Strategy,” Jul. 2018, pp. 240–249. doi: 10.24928/2018/0521.
- [48] J. Kunz and M. Fischer, “Virtual design and construction,” *Construction Management and Economics*, vol. 38, no. 4, pp. 355–363, Apr. 2020, doi: 10.1080/01446193.2020.1714068.
- [49] Verum Partners and Vale, “Salobo III: O papel da gestão integrada na transformação cultural e digital,” *O Empreiteiro*, Mar. 2022. Accessed: Feb. 02, 2024. [Online]. Available: https://revistaoe.com.br/wp-content/uploads/2022/04/OE-586_WEB.pdf
- [50] Vale, “Vale informa capacidade de processamento de 32 Mtpa em Salobo.” Accessed: May 03, 2024. [Online]. Available: <https://vale.com/pt/w/vale-informa-capacidade-de-processamento-de-32-mtpa-em-salobo>