

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNO RICARDO CORREIA DA SILVA**

**DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE  
OBRAS COM O USO DE FERRAMENTAS BIM**

Porto Alegre  
Setembro 2023

**BRUNO RICARDO CORREIA DA SILVA**

**DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE  
OBRAS COM O USO DE FERRAMENTAS BIM**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação  
do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientador: Eduardo Luís Isatto**

Porto Alegre  
Setembro 2023

### CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Bruno  
DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS  
COM O USO DE FERRAMENTAS BIM / Bruno Silva. -- 2023.  
34 f.  
Orientador: Eduardo Isatto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,  
BR-RS, 2023.

1. Building Information Modeling (BIM). 2.  
Planejamento de Canteiro de Obras. 3. Segurança do  
Trabalho. 4. Inovação na Construção. I. Isatto,  
Eduardo, orient. II. Título.

**BRUNO RICARDO CORREIA DA SILVA**

**DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE  
OBRAS COM O USO DE FERRAMENTAS BIM**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Porto Alegre, setembro de 2023**

**Prof. Eduardo Luís Isatto (UFRGS)**  
*Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul*  
**Orientador**

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Eduardo Luís Isatto (UFRGS)**  
*Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

**Eng. Raquel Hoffmann Reck (UFRGS)**  
*Mestra pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

**Eng. Rafaello Fensterseifer Paim**  
*Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Cacilda e Everaldo, por todo apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Cacilda e Everaldo, pela confiança e apoio durante a minha formação, dando suporte à minha decisão de mudar de estado e morar sozinho.

Agradeço à minha namorada, Isabelly, por ter ficado ao meu lado e dividindo os momentos mais desafiadores nos anos de pandemia e na reta final da graduação.

Agradeço aos meus amigos Guilherme, Thalles, Paulo, Jhennifer, Fernanda e Isabella, pelas parcerias de semestres.

Agradeço à Bateria Universitária da Escola de Engenharia, Minotrago, pelas amizades que fiz e que levarei comigo.

Agradeço ao professor Isatto por ter aceitado ser meu orientador e pela paciência ao me orientar. Obrigado por todo conhecimento transmitido.

É necessário sempre acreditar que o sonho é possível,  
que o céu é o limite e você, truta, é imbatível.

Racionais MC's

# DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS COM O USO DE FERRAMENTAS BIM

Bruno Ricardo Correia da Silva

## RESUMO

As mudanças tecnológicas exigem que as indústrias se adaptem constantemente, incorporando inovações para melhorar segurança, qualidade, eficiência de produção e reduzir o impacto ambiental. O uso da informação se destaca como impulsionador da produtividade, economizando tempo e otimizando processos. Neste estudo de caso, propõe-se desenvolver diretrizes para o planejamento de canteiros de obras com o uso da modelagem da informação da construção (BIM). Essa abordagem busca aprimorar a comunicação entre os envolvidos no processo construtivo, aumentar a segurança no canteiro e otimizar o uso dos recursos disponíveis.

**Palavras-chave:** Modelagem da Informação da Construção (BIM); Planejamento de Canteiros de Obras; Segurança no Trabalho; Inovação na Construção.

## ABSTRACT

*Technological advancements are driving constant evolution within industries, necessitating ongoing adaptation and the integration of innovations to enhance safety, quality, production efficiency, and reduce environmental impact. Information utilization stands out as a key driver of productivity, offering time savings and process optimization. In this case study, we propose the development of guidelines for construction site planning through the utilization of Building Information Modeling (BIM). This approach has the potential to improve communication among stakeholders in the construction process, enhance on-site safety, and optimize the utilization of available resources.*

**Keywords:** *Building Information Modeling (BIM); Construction Site Planning; Work Safety; Innovation in construction.*



# 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil vem enfrentando um processo eminente de transformação tecnológica, no entanto, pesquisas apontam que a sua adaptação ao mercado se dá a passo lentos. Em um cenário cada vez mais competitivo e de crescimento acelerado, as construtoras buscam ter um desempenho que as levem a uma posição de destaque no ramo, gerando lucros e crescimento. Já em um cenário atípico, elas tendem a um maior controle nos gastos e menor exposição ao risco. Para que essas empresas permaneçam competitivas nesse ambiente, o constante desenvolvimento tecnológico se torna um aliado indispensável. Estudos acadêmicos na área da engenharia civil voltados para inserção de novas tecnologias desde a engenharização até a sua aplicação nos canteiros de obras vem tomando volume, mas ainda não é o suficiente para suprir as demandas.

Um dos pontos mais importantes e que gera grandes debates no setor é quanto ao fluxo de informações durante o desenvolvimento de um empreendimento, cada vez mais se discute sobre como melhorar a comunicação de todas as equipes envolvidas em um projeto para que se evite desperdícios e gastos desnecessários e que se gere ganhos de tempo, qualidade e segurança, resultando na agregação de valor ao produto. A Modelagem da Informação ou, como é conhecida, em inglês, de *Building Information Modeling* (BIM), visa atender essa demanda, propondo estabelecer maior integração entre as equipes em torno de um modelo único e integrado, contendo todas as informações necessárias para o desenvolvimento do empreendimento e que atenda todo o seu ciclo de vida, da concepção, gestão, execução e até operação. Dentre as potenciais contribuições do BIM para a gestão de empreendimentos, destaca-se o seu papel fundamental no planejamento do canteiro de obras. Tal atividade é inerentemente complexa, não apenas pelo grande número de variáveis relevantes, como também pelo aspecto dinâmico decorrente da integração com o planejamento do empreendimento.

Para que a engrenagem funcione, é peça fundamental para o BIM a interoperabilidade entre sistemas, o que permite a conexão entre diferentes *software* disponíveis hoje no mercado, uma vez que, em um empreendimento, estão envolvidas equipes de diferentes frentes de trabalho, entre elas layout, arquitetura, estrutural, instalações hidrossanitários, elétricos e de climatização e PPCI. Para estabelecer essa comunicação, foi criado pela organização buildingSMART um modelo de dados extensível, o *Industry Foundation Classes* (IFC), que desde a sua criação em 1997 recebe

constantemente atualizações que objetivam, através de uma linguagem padrão, estabelecer a interoperabilidade entre os programas.

O objetivo desta pesquisa é **propor diretrizes para o planejamento de canteiros de obras como suporte da modelagem da informação da edificação (BIM)**. Tais diretrizes deverão incluir a movimentação e armazenamento de materiais no canteiro, arranjo físico (leiaute), instalações provisórias e segurança do trabalho.

## **2 PLANEJAMENTO DO CANTEIRO DE OBRAS**

### **2.1 Planejamento do canteiro de obras e sua importância**

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) enfrenta um ambiente cada vez mais competitivo, onde a concorrência por espaço está diretamente vinculada ao desempenho das construtoras que buscam aumentar a produtividade e reduzir as perdas nos canteiros de obra. Infelizmente, a falta de planejamento e gestão adequados dos canteiros muitas vezes resulta em perdas difíceis de serem quantificadas, prejudicando ainda mais esse cenário desafiador; (SAURIN; FORMOSO, 2006; SADEGHPOUR; ANDAYESH, 2015; CALDART; SCHEER, 2022)

Além da perda da produtividade, um canteiro mal planejado pode acarretar o aumento dos custos de transporte e no risco de acidentes (CALDART; SCHEER, 2022), uma vez que envolve diversas instalações e equipamentos temporários que ocupam espaços significativos que, em muitos casos, são limitados, podendo afetar negativamente a acessibilidade, a segurança e o fluxo dentro do canteiro, resultando em ineficiências (KUMAR; CHENG, 2015).

Para Saurin (1997), o planejamento do canteiro de obras é definido como o “planejamento do layout e da logística das instalações provisórias, instalações de movimentação e armazenamento de materiais e instalações de segurança”. Ainda segundo o mesmo autor, a padronização desses sistemas é fator preponderante, resultando em benefícios à empresa, principalmente quando se trata de obras com características semelhantes.

## **2.2 Planejamento do arranjo físico (leiaute)**

O canteiro de obras, por ser essencialmente dinâmico, precisa se adaptar às condições de trabalho de construção durante a sua execução (CALDART; SCHEER, 2022), além de que as divisões do empreendimento e a sua sequência e trajetória de execução determinam o projeto do arranjo físico do *layout* (SCHRAMM, 2004). Segundo Sadeghpour e Andayesh, (2015), ao planejar o layout do canteiro, é essencial levar em conta as propriedades das instalações e equipamentos envolvidos. Ainda segundo os mesmos autores, entre as principais características que devem ser consideradas estão a natureza do objeto, ou seja, a sua função e finalidade específica no projeto; o seu formato e tamanho, pois isso influenciará diretamente a disposição no espaço disponível; e a capacidade do objeto de se movimentar pelo canteiro, o que afeta a logística e o fluxo de trabalho no local.

### **2.2.1 Segurança em canteiros de obras**

O planejamento do canteiro de obras está atrelado com a segurança do trabalho uma vez que aquele envolve o planejamento logístico das instalações provisórias, da movimentação e do armazenamento de materiais que são contemplados por normas de segurança (SAURIN, 1997). Para Shafiq e Afzal (2021), o planejamento da segurança do trabalho nos canteiros é algo desafiador pelas seguintes razões:

- a) as instalações provisórias requerem que sejam feitas montagens e desmontagens durante as atividades em progresso, sendo então uma atividade de alto risco no canteiro;
- b) falta de maior abordagem dessas estruturas e processos como as movimentações de materiais e equipamentos, estruturas temporárias e operações de maquinários, nos projetos, contratos e documentações acerca do empreendimento;
- c) métodos de planejamento de segurança utilizados hoje são fortemente dependentes de informações contidas em projetos 2D, o que dificulta o entendimento dos trabalhadores no canteiro de obras.

Outras indústrias já utilizam a tecnologia na gestão de segurança em suas plantas, como é o caso da indústria de manufatura, mas essas práticas ainda são escassas no setor da construção civil (SHAFIQ; AFZAL, 2021). Lucia et al. (2021), argumentam que a utilização dos modelos

virtuais que permitem conferência dos sistemas de segurança em campo é a de maior relevância na utilização do BIM no Brasil, possuindo um grande campo a ser explorado com aplicações em treinamentos de procedimentos de execução de serviços e de segurança nos canteiros.

Por fim, acredita-se que, uma vez vencida as barreiras que dificultam a sua aplicação, como por exemplo problemas com interoperabilidade entre os *software*, a disseminação do conhecimento BIM entre os profissionais da área e maior disponibilização de bibliotecas que abordam questões de segurança no canteiro, e com a crescente utilização de BIM nos empreendimentos, a segurança do trabalho possa se beneficiar com seu uso nos próximos anos (SULANKIVI et al., 2014; LUCIA et al., 2021).

### **2.2.2 Instalações provisórias**

As instalações temporárias englobam todas as estruturas e espaços provisórios que são implantados em um local de construção para apoiar as atividades do projeto durante o ciclo de construção. A necessidade de dimensioná-las adequadamente surge da variação nas estimativas requeridas para cada tipo de instalação, dependendo de fatores como o número de trabalhadores simultâneos e a posição relativa às zonas de produção. Por exemplo, na adequação e posicionamento de instalações sanitárias, vestiários e escritórios (SAURIN, 1997).

### **2.2.3 Movimentação e armazenamento de materiais**

O sistema de movimentação e armazenamento de materiais engloba o transporte horizontal e vertical de elementos para áreas de consumo ou armazenamento, cujo planejamento se destaca devido à sua integração com vários processos produtivos no canteiro de obras, impactando diretamente na produtividade e no desperdício de materiais (SAURIN, 1997). O dimensionamento é influenciado por fatores que incluem o tamanho do projeto, o planejamento de execução, a programação de aquisições e entregas de materiais, a fabricação e montagem no próprio canteiro e a quantidade e qualidade dos acessos disponíveis (SAURIN, 1997; YU et al., 2016), além de decisões sobre os métodos e equipamentos de transporte e das rotas a serem seguidas. Essa abordagem minuciosa é essencial para uma integração harmoniosa das operações de movimentação e armazenamento de materiais com o fluxo produtivo geral, resultando em maior eficiência, redução de custos e otimização do tempo.

## 2.3 O processo de planejamento do canteiro de obras

### 2.3.1 Etapas do processo de planejamento

Diversos estudos têm se voltando ao planejamento do canteiro de obras nas últimas décadas (SADEGHPOUR; ANDAYESH, 2015). Para Illingworth (1993 apud SAURIN, 1997), os canteiros de obras podem ser classificados em três tipos: restritos, amplos e longos e estreitos. O quadro 1, resume cada caso.

Quadro 1- Tipos de Canteiro

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
<b>Restritos</b>	A construção ocupa o terreno completo ou uma alta percentagem deste. Acessos restritos
Exemplos	Construções em áreas centrais da cidade, ampliações, reformas e trabalhos em estradas de ferro e rodagem.
<b>Amplos</b>	A construção ocupa somente uma parcela relativamente pequena do terreno. Há a disponibilidade de acessos para veículos e de espaço para as áreas de armazenamento e acomodação de pessoal.
Exemplos	Construção de plantas industriais, conjuntos habitacionais e horizontais e outras grandes obras como barragens, usinas hidrelétricas etc.
<b>Longos e estreitos</b>	São restritos em apenas uma das dimensões, com possibilidade de acesso em poucos pontos do canteiro
Exemplos	Trabalhos em estradas de ferro e rodagem, redes de gás e petróleo, e alguns casos de obras de edificações em zonas urbanas.

Fonte: Illingworth 1933 apud Saurin, 1997

Saurin (1997) propõem diretrizes para o planejamento do arranjo físico dividindo o planejamento do *layout* em etapas, análise preliminar, arranjo físico geral e arranjo físico detalhado que são definidos a seguir:

- a) Análise preliminar: levantamento de dados através da leitura de projetos arquitetônicos, dimensionamento de mão de obra e de instalações provisórias, identificação dos materiais a serem estocados, suas quantidades e área ocupada e estudo das zonas de descarga de materiais e dimensões dos veículos;
- b) Arranjo físico geral: definição das áreas dos equipamentos de transporte, áreas de produção, vivência, depósito e apoio (almoxarifado, escritório, guarita/ portão, plantão de vendas etc.). Além do posicionamento, é importante analisar nessa etapa

a influência entre as diversas áreas, como por exemplo as zonas de produção de armadura e argamassa que devem ficar próximas do elevador cremalheira, evitando grandes trajetos (CALDART; SCHEER, 2022);

- c) Arranjo físico detalhado: detalha a disposição dos equipamentos e instalações dentro de cada área do canteiro, visando melhorar o fluxo de trabalhadores sem que haja interferências.

Já para Andayesh e Sadeghpour (2014), o planejamento do canteiro também deve abordar o fator tempo em seu estudo e ainda definir uma estratégia dentre 3 abordagens: *layout* fixo onde se considera que todos os componentes do canteiro serão estáticos durante toda execução do empreendimento; *layout* por fases considera que alguns objetos sofrerão mudanças de local, liberando o espaço para novos usos, devendo-se então ter um planejamento por fases; *layout* dinâmico considera que um espaço possa receber diversas funções, a depender da duração em que determinado objeto irá ocupar.

O planejamento do canteiro de obras é uma tarefa complexa, pois envolve uma ampla variedade de variáveis a serem consideradas (SADEGHPOUR; ANDAYESH, 2015). No entanto, de acordo com esses mesmos autores, há avanços significativos das ferramentas computacionais e nas técnicas de otimização aplicadas ao planejamento de canteiros, buscando aprimorar o setor da construção.

### **2.3.2 O papel do planejamento do canteiro na gestão da produção**

Apesar de ter um planejamento sólido dos sistemas de produção, o *layout* do canteiro pode não estar totalmente otimizado devido à falta de atenção dada às questões de controle dos planos de obra. Ao longo da execução do projeto, ainda assim é inevitável o surgimento de problemas que afetam a produção e conseqüentemente a disposição original dos sistemas e a gravidade do seu impacto está diretamente relacionado com o detalhamento e qualidade do planejamento (SAURIN, 1997).

Para Saurin (1997), as operações mais impactadas por alterações não planejadas e que, muitas vezes, a alternativa encontrada para esses problemas vem de improvisações as quais acabam comprometendo o fluxo dentro do canteiro, são as operações de armazenamento, descarga e movimentação de materiais. De acordo com Sacks et al. (2009), o uso de ferramentas

computadorizadas permite visualizar os processos de produção e podem auxiliar na tomada de decisão no cotidiano da obra. Uma dessas ferramentas é o BIM, cujo uso tem crescido como suporte para a gestão da produção (BIOTTO et al., 2015).

Dessa forma, a gestão das atividades no canteiro desempenha uma função essencial ao lidar com diversas decisões cruciais para assegurar a execução bem-sucedida do planejamento inicial, e o uso de ferramentas que facilitam a visualização desses processos amplifica sua eficácia. Essas decisões abrangem:

- a) gerenciamento das equipes no canteiro, especialmente no sequenciamento de atividades como revestimentos cerâmicos, para evitar interferências com outras frentes de trabalho, sendo comunicado de maneira mais eficaz quando combinado com um modelo de visualização (SACKS et al., 2009);
- b) visualização do sequenciamento dos panos da fachada, de modo a maximizar a utilização das equipes de balancins. Essa abordagem torna os desenhos arquitetônicos mais acessíveis a participantes e partes interessadas não técnicas do projeto, superando a limitação dos desenhos técnicos em sua compreensão (SACKS et al., 2010);
- c) antecipação e planejamento de possíveis interferências entre os fluxos de mão de obra e materiais, que podem surgir devido às alterações frequentes no *layout* do canteiro (LI et al., 2009);
- d) previsão e planejamento das vias de acesso, considerando suas possíveis alterações ao longo do ciclo de vida do empreendimento (LI et al., 2009).

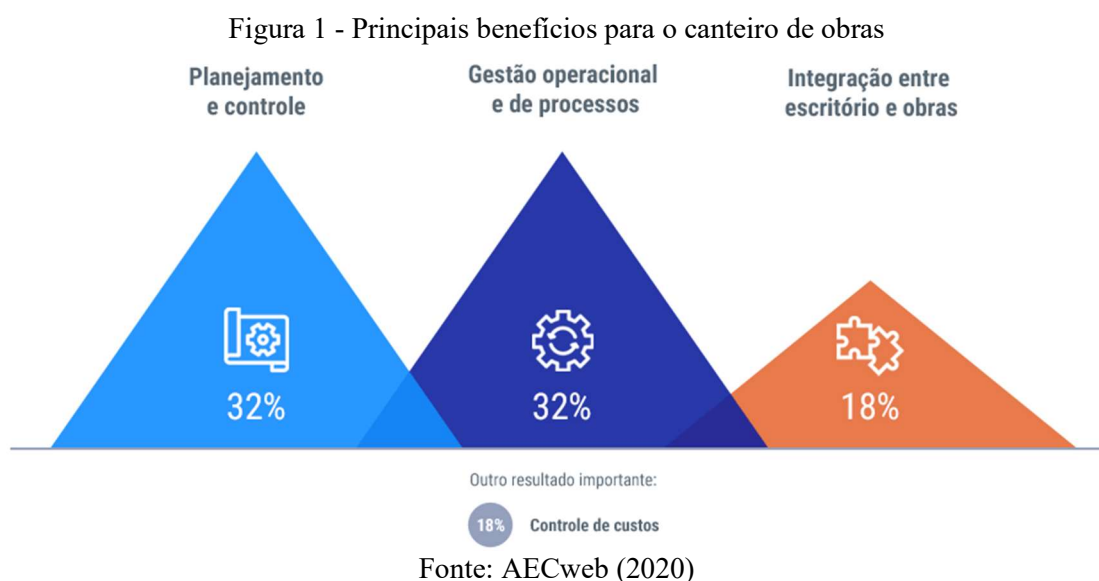
Por fim, é válido enfatizar que o problema do layout e o planejamento da produção são atividades intrinsecamente relacionadas, uma vez que todos os sistemas de produção pertencem ao *layout* do canteiro (SAURIN, 1997). Além disso, complexidades relacionadas ao planejamento, como aspectos temporais e espaciais, sendo esse amplamente amparado por regulamentações, podem ser facilmente abordadas por meio da aplicação de metodologias BIM.

### 3 BUILDING INFORMATION MODELING – BIM

#### 3.1 BIM e a Interoperabilidade

Segundo a organização BuildingSMART (2010), *Building Information Modeling*, ou simplesmente BIM, é um novo modo de se estruturar e exibir as informações necessárias em projetos, construção e operação dos ambientes construídos. Para Seixas et al. (2022), o BIM é uma maneira de dar ao modelo tridimensional as especificações de características físicas e funcionais de uma construção o que possibilitaria a eliminação de incompatibilidades. O BIM permite reunir diferentes segmentos de informações usadas na construção civil em um único ambiente operacional, reduzindo a necessidade do uso de grandes volumes de documentos (BUILDINGSMART, 2010). O BIM ainda possibilita que o gerenciamento das informações e dos fluxos de objetos no canteiro seja feito de maneira mais prática, servindo como um caminho na implementação para o planejamento do *layout* de canteiros (CALDART, 2017).

Um levantamento feito pelo portal AECweb (2020), através de uma pesquisa com mais de 500 empresas do setor da construção civil, procurou entender como a transformação digital poderia impactar a indústria. A pesquisa a ponta que grande parte das empresas são a favor da transformação digital no setor, sendo uma ferramenta importante para recuperação após os anos de crise da COVID-19. Para elas os principais ganhos estão no ganho de produtividade, automatização de processos e redução de custos. Quanto aos benefícios da transformação nos canteiros de obra, a Figura 1 explicita como as empresas enxergam essa transformação.



Planejamento de canteiros de obras com o uso de BIM



Embora o uso do BIM na construção civil possa trazer diversas melhorias para o setor, a sua aplicação vem enfrentando algumas dificuldades. Atualmente, problemas com interoperabilidade, custo de aquisição de *hardware* e *software* e o baixo índice de capacitação da mão de obra são grandes obstáculos a serem superados (LUCIA et al., 2021). A interoperabilidade é a condição de trocas de informação entre diferentes *software*, facilitando os fluxos de trabalhos (EASTMAN et al., 2011). Sua ausência pode resultar em problemas de comunicação entre equipes, levando a possíveis perdas, duplicações ou até mesmo alterações de informações quando um modelo é importado para um *software* diferente daquele em que foi originalmente criado. Contudo, os custos elevados dos programas frequentemente desencorajam as empresas de investir, devido à falta de compreensão do retorno financeiro a longo prazo. Isso, por sua vez, diminui o interesse da mão de obra em buscar aprimoramento.

No entanto, recentemente tem crescido a utilização dos padrões abertos interoperáveis ou Open BIM que são padrões de dados abertos capazes de facilitar a comunicação entre os diferentes *software* utilizados pelas equipes envolvidas no projeto, facilitando a colaboração e o compartilhamento entre elas. Entre esses padrões, o mais disseminado atualmente é o padrão *Industry Foundation Classes* (IFC), capaz de armazenar diversas informações e com potencial de ser aceito em uma ampla gama de *software* disponíveis no mercado.

### **3.2 Industry Foundation Classes - IFC**

O IFC vem sendo desenvolvido desde os anos 90, como forma de se vencer um dos principais obstáculos para a implementação do BIM. Seu desenvolvimento foi iniciado pela *International Alliance for Interoperability* — um consórcio internacional de empresas, usuários e pesquisadores —, que posteriormente passou a se denominar buildingSMART. Para atender a demanda de trabalhar com um nível de informação adequado nos projetos da construção civil, o IFC foi desenvolvido com a função de agregar estas informações ao modelo do empreendimento para que possa ser acessado durante todo o ciclo de vida da edificação (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). Segundo Andrade e Ruschel (2009), o IFC é presente em todo *software* BIM e muitos outros aplicativos de análise.

Segundo Eastman et al. (2011), um modelo IFC “consiste em entidades que descrevem objetos físicos, conceitos abstratos, elementos relacionados com a AEC, processos, atores etc”. As entidades englobam todos os objetos que compõem o projeto na forma elementos estruturais

(vigas, pilares e paredes), máquinas e equipamentos, topografia do terreno e mobiliário, além de representar a relação entre elementos da construção, os espaços e elementos espaciais, as classificações etc. Para Wang (2019), a vantagem da utilização do IFC na construção civil é que esses modelos são considerados *open source*, o que significa que as informações podem ser facilmente acessadas para visualização, verificação e alteradas conforme a necessidade, tornando um dos canais mais populares de troca de dados em BIM.

Um esforço significativo vem sendo empregado para que o IFC se mantenha atualizado com as mudanças e necessidades do setor da construção civil. No entanto, de acordo com Andrade e Ruschel (2009), a lentidão da assimilação de novas versões do IFC pelas soluções de *software* BIM proprietário ainda é um aspecto bastante presente.

### 3.3 Arquitetura IFC

O padrão IFC é organizado em uma estrutura hierárquica modular ou de esquemas (Figura 2), dividida em quatro camadas de dados: os centrais, os de interoperabilidade, os específicos e os de definição. Cada camada é composta por vários módulos que contêm diversas entidades, tipos, enumerações, regras e funções. As entidades representam a abstração de objetos com propriedades semelhantes, atuando como agentes de informação para descrever as informações de construção e os componentes circundantes quando o padrão IFC é utilizado (ZHILIANG et al., 2010).

Figura 2 - Estrutura modular IFC



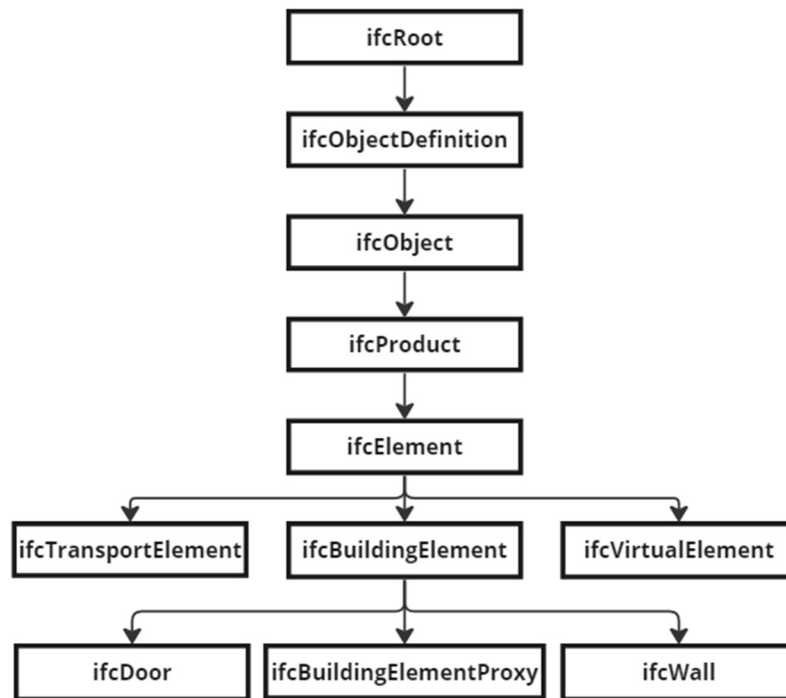
Fonte: Elaborado pelo Autor.

As camadas são definidas a seguir conforme a BuildingSMART (2023):

- a) esquema de dados centrais: camada genérica da estrutura IFC, a camada domínio fornece a estrutura básica, os relacionamentos fundamentais e os conceitos comuns para todas as especializações adicionais nos modelos específicos de aspectos;
- b) esquema de dados de elementos interoperáveis: camada onde encontram-se as entidades que representam os componentes físicos de um empreendimento como lajes, colunas e vigas, paredes, portas e outros;
- c) esquema de dados específicos de domínio: contém entidades abstratas, responsáveis por dar a elas maior especificidade de informações como por exemplo a definição do tipo de porta e janelas (*ifcDoorStyle* e *ifcWindowStyle*);
- d) esquemas de dados de definição de recursos: contém entidades que definem posições, geometria, material, medidas, custos e outros, oferecendo dados de suporte à informação.

Todo modelo IFC é formado através de uma instância global pertencente à camada de dados centrais, o *IfcRoot*, onde todos os conjuntos de dados relativos a um contexto geral estão incluídos, como por exemplo informações quanto a identificação do responsável pelo projeto e descrição dos objetos das sub-entidades (WANG et al., 2013). A figura 3, ilustra a composição da hierarquia de um objeto genérico, *ifcBuildingElementProxy*, a partir do *IfcRoot* e alguns dos seus parentes diretos (supertipos) são definidos abaixo conforme a BuildingSMART (2023):

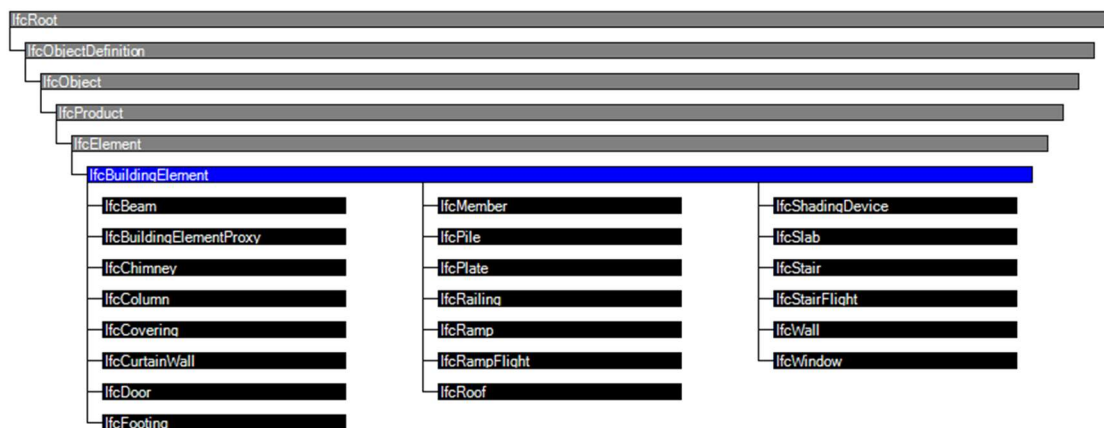
- a) *ifcObjectDefinition*: entidade que tem como propósito definir de maneira semântica objetos ou processos podendo ser um tipo ou uma ocorrência;
- b) *ifcProduct*: representação abstrata de qualquer objeto que se relaciona com um contexto geométrico ou espacial;
- c) *ifcElement*: generalização de todos os componentes fisicamente existentes que compõem um empreendimento;
- d) *IfcBuildingElement*.

Figura 3 - Representação da estrutura *IfcRoot*

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O *IfcBuildingElement* é uma das principais instâncias que definem os elementos de construção. A partir dele estão contempladas as classes de objetos que descrevem o modelo 3D e que pertencem à camada de interoperabilidade como, por exemplo, as portas (*ifcDoor*), paredes (*ifcWall*), vigas (*ifcBeam*), pilares (*ifcColumn*), etc. Cada uma dessas classes herdará um conjunto de informações que foram devidamente apropriadas em seus parentes ancestrais, ou supertipos, na sua hierarquia. A figura 4 ilustra algumas das classes disponíveis nos arquivos IFC:

Figura 4 - Hierarquia das classes IFC



Fonte: BuildingSMART (2023).

Já o *ifcBuildingElementProxy* é caracterizado como um elemento de construção que não apresenta propriedades específicas, como *ifcDoor* e *ifcWall*, podendo assumir propriedades diversas e customizadas, conforme definido entre o modelador e as partes. A vantagem de usar essa classe é que ela permite representar objetos que não possuem uma classificação dentro dos *software*, como por exemplo os tapumes e bandejas de proteção. No entanto, essa classificação pode ser modificada por *software* que possuem capacidade de edição.

### 3.4 Conjuntos de propriedades (*Property Sets*)

A noção de Conjuntos de Propriedades, ou *property sets*, para Objetos ou Tipo de Objetos, descreve a maneira pela qual uma ocorrência de um objeto pode estar vinculada a um ou diversos conjuntos de propriedades. Um conjunto de propriedades engloba uma ou várias propriedades. As propriedades individuais podem apresentar tipos de dados como valor único, valor enumerado, valor limitado, valor de tabela, valor de referência, valor de lista, bem como uma combinação de ocorrências de propriedades (BUILDINGSMART, 2023)

Nos arquivos IFC, os *property sets*, ou ainda *Psets*, são usados para atribuir e definir propriedades e características específicas aos elementos do modelo, permitindo uma representação mais completa e detalhada das informações de construção. Ao utilizar *Psets* em arquivos IFC, os profissionais da construção podem organizar, classificar e enriquecer dados relacionados a cada elemento do projeto, como paredes, portas, janelas e componentes estruturais. Assim, a incorporação dos *Psets* no contexto dos arquivos IFC impulsiona a eficiência e a qualidade do processo de modelagem, contribuindo para uma indústria da construção mais colaborativa e tecnologicamente avançada.

A BuildingSMART (2023), disponibiliza uma variedade de *property sets* para serem integradas ao modelo BIM e muitas delas estão atrelados à uma entidade e outras não, podendo ser apropriadas a qualquer classe. Uma das propriedades atreladas à uma classe é o *Pset\_TransportElementCommom* que tem como função adicionar informações em um objeto quanto ao tipo de transporte, sua capacidade de peso e de pessoas (Figura 5).

Figura 5 – Exemplo de *Pset\_TransportElementCommon*


Pset_TransportElementCommon	
Status	['TEMPORARY']
CapacityPeople	5.0
CapacityWeight	500.0

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.5 Entidades IFC direcionadas ao *layout* do canteiro

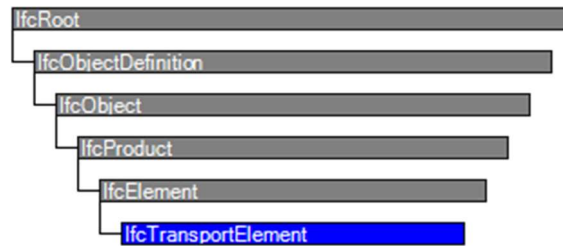
A representação das instalações provisórias para fins administrativos como os escritórios de engenharia, almoxarifado, vestiários, sanitários e refeitório permite uma visualização otimizada quando se tem um modelo complexo, possibilitando a visualização de forma clara das dimensões, posições e acessos. O mesmo raciocínio se aplica quando da necessidade da classificação dos equipamentos como balancim, elevadores cremalheiras e andaimes “fachadeiro”, pois a partir daí observa-se zonas de trabalho e de risco elevado para queda de material particulado em determinada fase do empreendimento. Já para as zonas de produção como as de argamassa, de formas e armaduras e as de estoque, suas representações são necessárias, pois permitem avaliar o fluxo de trabalho, os possíveis trajetos e acessos e como eles podem variar durante o processo construtivo.

Atualmente existem poucas classes que se relacionam diretamente com as zonas e instalações provisórias e não há classes que abordam segurança do canteiro de obras. No entanto, a necessidade de se representar e classificar os objetos que compõem o canteiro é fator preponderante para o desenvolvimento e a implementação BIM no planejamento. Para contornar esse cenário, no trabalho em questão, decidiu-se utilizar classes que se aproximem daquilo que se quer representar. Sendo assim, foi decidido utilizar classes que poderiam representar os elementos de organização de canteiro, que são o *ifcTransportElement*, *ifcVirtualElement*, *ifcSpatialZone*, *ifcSpatialElement* e o *ifcExternalSpatialElement*.

O *ifcTransportElement* é uma propriedade utilizada para definir objetos que possuem qualquer relação com transporte, podendo ser tanto de materiais quanto de trabalhadores (BUILDINGSMART, 2023). Objetos que representam os equipamentos, como por exemplo os balancins, elevador cremalheira, caminhões e porta paletes, foram assim classificados neste trabalho. Há ainda o *ifcTransportElementType*, que pode definir um tipo de elemento de transporte, como um modelo de um equipamento.

Tanto *ifcTransportElement* como *ifcTransportElementType* possuem uma propriedade que permite enquadrá-los em uma categoria predefinida de equipamento. Na versão atual do IFC (versão 4), dentre as categorias disponibilizadas, apenas a opção de “ELEVATOR” tem relação direta com o objeto deste trabalho, uma vez que é a que mais se aproxima no caso de elevadores cremalheira. A Figura 6, mostra a estrutura hierárquica do *ifcTransportElement*.

Figura 6 - Hierarquia da Classe *ifcTransportElement*



Fonte: (BUILDINGSMART, 2023)

Já para representar os caminhos, trajetos, zonas de trabalho e com riscos de acidentes, foi decidido utilizar o *ifcVirtualElement* que é responsável por “definir áreas, volumes e limites imaginários, de espaço reservado ou provisório” (BUILDINGSMART, 2023).

O IFC4, versão mais atual do IFC, contém a classe *ifcSpatialZone* e que pode ser usada para representar um elemento de espaço do produto, ou seja, uma zona de construção ou uma zona de trabalho há ainda classes que permitem especificar se o elemento é interno, *ifcSpatialElement*, ou externo, *ifcExternalSpatialElement* (BUILDINGSMART, 2023), no entanto, até a realização desse estudo poucos *software* possuíam a capacidade de ler arquivos no formato IFC4. Ao trabalhar com um modelo onde os objetos são devidamente classificados, é possível alcançar uma padronização adequada da informação, tornando mais fácil o acesso a ela. Isso é especialmente importante quando o modelo contém uma grande quantidade de classes, o que pode dificultar a identificação e visualização dos elementos de maneira dinâmica e organizada.

Garantir que as informações estejam organizadas de maneira adequada no modelo é fundamental. Portanto, é igualmente importante adicionar maior especificidade aos objetos. Apenas contar com a classificação dos objetos no modelo nem sempre é suficiente para comunicar plenamente a mensagem desejada. Complementar essas classificações com informações mais detalhadas pode ser muito útil para obter uma comunicação mais precisa e abrangente. O quadro 2, sintetiza as classes e seus possíveis usos no contexto de planejamento do canteiro.

Quadro 2 - Resumo das principais Classes IFC aplicáveis ao planejamento do *layout*

Classe	Função	Necessidades
<i>ifcBuildingElementProxy</i>	Representar objetos sem uma propriedade específica.	Tapumes, bandejas de proteção etc.
<i>ifcTransportElement</i>	Representar objetos que possuam capacidade de transporte de pessoas ou material.	Porta paletes, balancim, elevadores, carrinhos de mão, caminhões etc.
<i>ifcTransportElementType</i>	Especificar o tipo de elemento de transporte.	Elevadores.
<i>ifcVirtualElement</i>	Representar volumes ou limites imaginários.	Zonas de produção, estoques, áreas de administrativas caminhos etc.
<i>ifcSpatialZone</i> (A partir do IFC4.0)	Representar zonas de construção ou espaços com alguma função.	Zonas de produção, estoques, áreas administrativas, almoxarifados, vestiários, refeitórios etc.
<i>ifcSpatialElement</i> (A partir do IFC4.0)	Representar zonas de construção internas ou espaços com alguma função.	Zonas de produção, almoxarifado, estoques, banheiros, ou objetos que necessitam de local coberto.
<i>ifcExternalSpatialElement</i> (A partir do IFC4.0)	Representar zonas de construção externas ou espaços com alguma função.	Zonas de produção, almoxarifado, estoques, banheiros, ou objetos que possam ficar local aberto.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 3.6 O uso de BIM no planejamento do canteiro de obras

O uso de ferramentas BIM para o planejamento do *layout* do canteiro de obras pode trazer diversos benefícios para as construtoras, uma vez que, segundo Colpo e Freitas (2022), a modelagem permite a criação de simulações do layout em todas as etapas da construção, o que ajuda na identificação antecipada de erros e no planejamento mais eficiente. Sacks et al. (2009), afirmam que o BIM é uma ferramenta ideal para fornecer transparência do processo pelo fato de que a disposição dos ambientes físicos e seu dinamismo na construção dificultam o processo de imaginação do que está acontecendo e o que pode acontecer futuramente para os envolvidos no processo da construção.

Algumas ferramentas ainda permitem vincular as dimensões espaciais (3D) com a dimensão temporal, o que caracteriza o BIM 4D. Com o uso dos modelos 4D no canteiro de obras



é possível tomar decisões mais assertivas quanto a questões de logística, armazenamento e frentes de trabalho, através das informações visuais a respeito desses fluxos (VARGAS; FORMOSO, 2020) e identificar interferências que as instalações provisórias possam vir a causar na construção (LEITE, 2019). Além disso, tais informações permitem que as equipes antecipem as condições de trabalho, identifiquem áreas de risco e utilizem-nas como suporte para treinamentos (LUCIA et al., 2021), além de possibilitar a visualização dos arranjos de segurança em momentos diferentes no tempo, auxiliando no planejamento e comunicações diárias de segurança e no gerenciamento de situações em constante mudança (SULANKIVI et al., 2014).

O emprego de BIM no planejamento de canteiro de obras visa melhorar o fluxo de informações, aumentando a transparência entre todos os envolvidos no projeto e ainda dar apoio na tomada de decisão no canteiro, pois serão realizadas simulações de processos construtivos para embasar escolhas estratégicas. Além disso, a implementação das ferramentas BIM também tem o propósito de garantir maior segurança aos colaboradores, reduzindo o risco de acidentes no canteiro de obras. Sendo assim, pode-se afirmar que a metodologia BIM atende questões como espaço e tempo no planejamento do canteiro de obras, uma vez que permite, por exemplo, armazenar informações pertinentes às normas regulamentadoras (dimensões, capacidade etc.) e dispõe os objetos adaptando-os ao curso da obra.

## **4 MÉTODO DE PESQUISA**

O objetivo deste trabalho é oferecer suporte ao canteiro de obras, proporcionando diretrizes para o planejamento do layout com o auxílio de ferramentas BIM. Isso será alcançado por meio de um estudo de um modelo BIM 4D, focado na inclusão de informações relevantes sobre a disposição dos espaços no projeto. O método utilizado para a presente pesquisa foi um estudo de caso de uma edificação mista.

### **4.1 Descrição do modelo**

O modelo utilizado é uma obra do qual o autor participou como estagiário e é composta por um empreendimento misto, com lojas no segundo subsolo, dois subsolos (um residencial e um comercial), térreo com área de lazer e estacionamento, e uma torre residencial de quinze pavimentos e com 9 apartamentos por andar. A sua construção foi feita com estrutura de concreto armado e vedação cerâmica externa. Foram utilizados sistemas de balancim para a fachada da torre

e andaimes “fachadeiro” no perímetro das lojas por possuírem um pé direito maior que o convencional. O transporte vertical foi feito por um elevador cremalheira e uma minigrua, já o transporte horizontal foi realizado com carros porta-paletes e carrinhos de mão. A Figura 7 apresenta uma vista em perspectiva do empreendimento.

Figura 7 - Empreendimento completo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 4.2 Delineamento da pesquisa

Este estudo tem por objetivo **propor diretrizes para o planejamento de canteiros de obras com suporte da modelagem da informação da edificação (BIM)**, visando otimizar a disposição física, reduzindo a necessidade de transporte e movimentação, diminuir os riscos de acidentes e elevar os níveis de produtividade. A iniciativa para realizar esta pesquisa surge da necessidade de aprimorar a transparência nos canteiros de obras e melhorar o acesso às informações, por meio da melhoria na comunicação entre os diversos envolvidos no processo de construção.

A fase inicial desta pesquisa focou na revisão bibliográfica da literatura relacionada ao planejamento e gestão de projetos de construção, bem como nos princípios subjacentes à Modelagem da Informação da Construção (BIM). A etapa subsequente teve como propósito

encontrar, um *software* com a capacidade de trabalhar com modelos BIM, sendo capaz de importar e exportar arquivos IFC, realizar a modelagem de objetos, efetuar modificações, inserir novas categorias e incorporar informações adicionais. Além disso, a seleção do *software* levou em consideração a capacidade de criar simulações 4D, vinculando objetos a um cronograma de planejamento. Adicionalmente, optou-se por incluir *software* que servissem exclusivamente como visualizadores IFC, a fim de analisar e certificar as informações incorporadas ao modelo.

Em seguida, os conceitos revisados foram aplicados para desenvolver um modelo de um canteiro de obras, com o intuito de compreender a hierarquia e a classificação das informações, bem como a disposição dos componentes que constituíam o layout. Por último, a terceira fase compreendeu a interpretação dos resultados obtidos, permitindo a formulação de conclusões e considerações finais em relação à pesquisa.

## **5 RESULTADOS OBTIDOS**

### **5.1 Seleção de *software***

A seleção de *software* BIM para desenvolvimento do trabalho encontrou múltiplos desafios, uma vez que muitas dessas ferramentas demandam um considerável poder de processamento. Diante disso, foi decidido empregar uma abordagem que combinasse um visualizador baseado na web, um *software* de modelagem e uma solução com funcionalidade 4D. Adicionalmente, foi selecionado um *software* com a capacidade de editar as propriedades dos modelos IFC. É notável aqui que a capacidade de abrir o arquivo IFC em um aplicativo de bloco de notas para inspecionar o código do modelo e efetuar modificações relevantes foi uma característica destacada, eliminando a necessidade de depender exclusivamente de um *software* específico.

A interoperabilidade entre os diferentes *software* foi outra questão enfrentada. Alguns objetos não puderam ser abertos inicialmente devido a erros de importação de objetos específicos que foram exportados, e houve casos em que objetos importados alteraram sua posição ou orientação, demandando esforços adicionais para remodelagem e correção. Quanto às informações contidas no modelo, a disposição do *layout* do *software* dificultou a localização eficaz desses dados, o que acrescentou uma camada adicional de complexidade ao processo, embora ao final as informações tenham sido transmitidas sem nenhum ruído e nem corrompidas.

## 5.2 Etapa de preparação e análise do modelo

O modelo utilizado no presente trabalho foi desenvolvido por duas disciplinas — estrutural e arquitetura — e distribuído em 3 arquivos distintos, um arquivo apenas com a estrutura do empreendimento, um modelo arquitetônico do pavimento-tipo, e outro modelo arquitetônico com todos os elementos da arquitetura exceto os pavimentos-tipo. Sendo assim, foi feita a combinação dos três arquivos em um arquivo global, sendo necessária a importação do pavimento tipo 10 vezes e o ajuste do posicionamento, criando-se assim um modelo completo, também denominado modelo federado.

Em seguida estabeleceu-se o grau apropriado de detalhamento para representar o arranjo físico do canteiro de obras. Dado o escopo do trabalho, somente a geometria e limites desses elementos eram essenciais, uma vez que a ênfase estava nas informações inerentes ao modelo. Como consequência, realizou-se uma adaptação do modelo, envolvendo a remoção de múltiplos componentes extrínsecos ao desenvolvimento do projeto. Isso abrangeu a exclusão de elementos como a representação minuciosa de acabamentos como revestimentos em fachadas, sistemas de esquadrias em alumínio e madeira, elementos de forro, mobiliário, entre outros. O foco central concentrou-se exclusivamente nos componentes estruturais e paredes.

O resultado desta abordagem traduziu-se em um modelo mais conciso e de menor carga computacional, corroborando para uma otimização tanto da navegabilidade quanto da manipulação do modelo em si. Por fim, foi realizada uma análise do modelo quanto ao nível de informação já inserido bem como da classificação dos elementos importadas das disciplinas de estruturas e arquitetura.

## 5.3 Dimensionamento e modelagem das instalações provisórias

Após a conclusão da fase de preparação do modelo, o passo subsequente consistiu em realizar o dimensionamento das instalações provisórias. Essas informações possuem um valor significativo ao serem incorporadas ao modelo, pois não apenas contribuem para a compreensão do espaço que os elementos ocuparão, mas também para identificar os momentos na evolução da construção nos quais haverá maior ou menor impacto no *layout*.

Essa abordagem possibilita aprimorar a disposição física de forma mais eficaz. Sendo assim, segundo informado pela construtora, o momento de pico de funcionários foi na etapa em

que trabalhariam as frentes de divisórias de gesso, instalações elétricas e hidrossanitários, impermeabilização e revestimento cerâmico, resultando em um pico de 120 colaboradores. A gestão de obra foi de 8 pessoas, sendo dois engenheiros, dois assistentes de engenharia, dois estagiários, um técnico de segurança do trabalho e um administrativo de obras. O Quadro 3 resume as classes e propriedades consideradas no modelo, onde os *psets* com mais de um atributo inserido são mostrados entre colchetes.

Quadro 3 – Classes e propriedades por objeto

Classe IFC	Objeto	Property Set
<i>ifcTransportElement</i>	Elevador Cremalheira, Balancim e Porta Paletes.	<i>Pset_TransportElementCommon</i> e Dimensões [Largura e Comprimento].
<i>ifcSpatialZone</i>	Zonas de produção (Argamassa, Fôrmas e Armaduras), Zonas de Estoque, Almojarifado e Andaimes Fachadeiro.	<i>Pset_Usa*</i> e Dimensões [Largura, Comprimento e Área].
<i>ifcExternalSpatialElement</i>	Escritórios, áreas de vivência, vestiários e guarita.	Dimensões [Largura, Comprimento e Área] e Capacidade [Pessoas].
<i>ifcBuildingElementProxy</i>	Reservatórios, Tapumes e bandejas de proteção.	Dimensões [Largura, Comprimento, Altura e Área].
<i>ifcVirtualElement</i>	Trajetos, fluxos e zonas de riscos.	Dimensões [Largura e Comprimento].

\**Property Sets* criados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

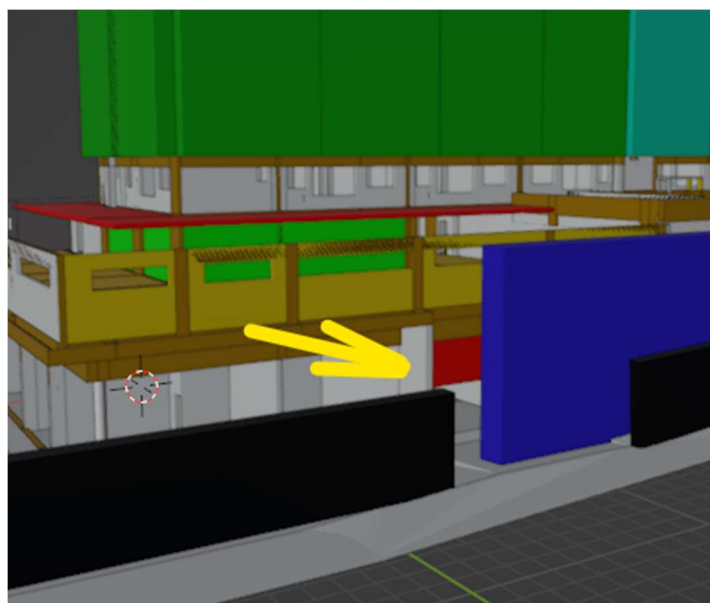
## 5.4 Planejamento 4D

Por fim, a elaboração do planejamento da construção foi focada na organização do local de trabalho. Com base no cronograma do projeto, foi essencial criar tarefas específicas para os diferentes elementos envolvidos, conectando-as às etapas da construção. Por exemplo, a instalação dos tapumes foi sincronizada com o início do processo de mobilização, enquanto a dura da alocação dos containers de engenharia e vestiário no segundo subsolo foi planejada para coincidir com a conclusão da concretagem da laje do térreo, onde esses containers seriam instalados. Outra instância é a instalação da zona de produção de armaduras e fôrmas, que foi alinhada com o início da construção da estrutura de concreto, e sua conclusão foi programada para coincidir com a última fase de concretagem associada a essa área específica. Essa abordagem criou uma interdependência

entre as atividades, formando assim uma rede de tarefas interligadas, também conhecidas como "*hammock tasks*".

Esse processo foi fundamental para determinar os momentos nos quais a mobilização e a desmobilização das áreas de produção, estoques e contêineres ocorreriam, para sequenciar as atividades relacionadas aos balancins nas fachadas e andaimes e como esses interferiam no *layout* quando montados, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Interferência do andaime fachadeiro com um dos acessos.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 5.5 Discussão dos resultados

A incorporação das informações no modelo foi efetuada de forma satisfatória, permitindo a adição e modificação conveniente através do *software* empregado, porém alguns *Psets* importantes eram restritos às classes específicas que não se enquadravam com os objetos modelados, como o caso do *Pset\_Risk*. A exibição desses dados no visualizador web estava distribuída, demandando a navegação por diferentes guias para examinar todas as propriedades associadas a um objeto. No entanto, após adquirir familiaridade com a interface, a ação de filtrar e selecionar objetos passou a ocorrer de maneira contínua, simplificando a visualização dinâmica dos elementos dentro do *layout*.

A modelagem dos objetos e sua colocação foram realizadas de maneira ágil, uma vez que não foi necessário um nível aprofundado de detalhamento. Alguns objetos, como os *containers* e a guarita, já haviam sido modelados por terceiros e foram simplesmente inseridos no modelo. A fase de planejamento 4D, por outro lado, demandou mais tempo, pois envolveu a associação de atividades a cada objeto de construção do projeto. Isso incluiu a criação de um planejamento e sua vinculação aos objetos, além da geração de simulações. Apesar dos desafios enfrentados ao longo desse processo, a modelagem do *layout* do canteiro usando ferramentas BIM revelou-se um método altamente produtivo. Ele foi capaz de fornecer resultados significativos para o desenvolvimento da obra, mesmo considerando as dificuldades que surgiram durante a realização desse trabalho. A Figura 9 mostra o resultado obtido.

Figura 9 - Empreendimento final.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, foi possível propor algumas diretrizes para o planejamento do canteiro de obras com o uso de tecnologias BIM:

- a) Coletar informações suficientemente detalhadas de todo o projeto, como plantas, cortes, elevações e detalhes construtivos a fim de se organizar o modelo criando uma base sólida de dados no modelo BIM;
- b) Utilizar um *software* que inclua a maioria das funções que se queira trabalhar: modelagem, edição e planejamento 4D. Evitando eventuais problemas de interoperabilidade;
- c) Utilizar simulação 4D para identificar interferências das instalações provisórias com o *layout* do canteiro durante a construção do empreendimento;
- d) Categorizar e padronizar as informações a fim de se ter um modelo organizado facilitando a navegação durante o seu manuseio e a comunicação com a equipe envolvida no projeto;
- e) Trabalhar com cores para representar sequencias de execução, fluxos e zonas de trabalho e de risco para que seja mais fácil o entendimento quando aplicado o modelo e disponibilizado em campo.

Após a implementação desses princípios, antecipa-se que o planejamento de canteiros de obras se torne uma atividade mais acessível e visual. Isso permitirá a otimização da produtividade nos locais de construção, prevenindo problemas de replanejamento frequente e confrontos com a mão de obra. Além disso, espera-se que a segurança dos colaboradores seja ampliada por meio da visualização das áreas de trabalho com riscos mais elevados e da identificação das instalações de prevenção de acidentes.

Contudo, é crucial salientar que as diretrizes apresentadas neste estudo são aplicáveis apenas a uma análise específica de um empreendimento misto, considerando suas particularidades. Isso implica que sua generalização para contextos amplamente diversos seja incerta, demandando investigações mais abrangentes para adaptar essas orientações nessas circunstâncias.

Como sugestão de estudos futuros, ampliar a abordagem proposta para abranger a incorporação da tecnologia BIM na gestão da produção em canteiros de obras.



## REFERÊNCIAS

- AECWEB. **A transformação digital na construção civil**. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/infografico/pesquisa-transformacao-digital.html>>. Acesso em: 28 jul. 2023.
- ANDAYESH, M.; SADEGHPOUR, F. The time dimension in site layout planning. **Automation in Construction**, v. 44, p. 129–139, 1 ago. 2014.
- ANDRADE, M. L. V. X. DE; RUSCHEL, R. C. INTEROPERABILIDADE DE APLICATIVOS BIM USADOS EM ARQUITETURA POR MEIO DO FORMATO IFC. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 4, n. 2, 15 dez. 2009.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 79–96, jun. 2015.
- BUILDINGSMART. Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods. **BuildingSMART**, p. 1–84, 2010.
- BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes Version 4 - Addendum 1**. Disponível em: <<https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD1/HTML/link/ifcbuildingelement.htm>>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- CALDART, C. W. PLANEJAMENTO PARA PROJETO DE CANTEIRO DE OBRA COM USO DE MODELAGEM BIM 4D. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**, 2017.
- CALDART, C. W.; SCHEER, S. Construction site design planning using 4D BIM modeling. **Gestao e Producao**, v. 29, 2022.
- COLPO, V. M.; FREITAS, A. P. M. DE. Planejamento e logística de canteiros de obras com Metodologia BIM - vantagens, desafios e soluções. **Disciplinarum Scientia - Ciências Naturais e Tecnológicas**, v. 23, n. 2, p. 113–131, 2022.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. v. 1

KUMAR, S. S.; CHENG, J. C. P. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. **Automation in Construction**, v. 59, p. 24–37, 1 nov. 2015.

LEITE, F. L. **BIM FOR DESIGN COORDINATION: A Virtual Design and Construction Guide for Designers, General Contractors, and MEP Subcontractors**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019. v. 1

LI, H. et al. Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis. **Automation in Construction**, v. 18, n. 7, p. 912–918, nov. 2009.

LUCIA, A. et al. O uso do BIM no canteiro de obras e a sua influência na segurança do trabalho. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, p. 1–12, mar. 2021.

SACKS, R. et al. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968–980, set. 2010.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 135, n. 12, p. 1307–1315, 1 dez. 2009.

SADEGHPOUR, F.; ANDAYESH, M. The constructs of site layout modeling: An overview. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 42, n. 3, p. 199–212, 22 jan. 2015.

SAURIN, T. A. **MÉTODO PARA DIAGNÓSTICO E DIRETRIZES PARA PLANEJAMENTO DE CANTEIROS DE OBRA DE EDIFICAÇÕES**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, maio 1997.

SAURIN, T. ABREU.; FORMOSO, C. TORRES. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos**. [s.l.] ANTAC, 2006.

SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)—Porto Alegre: UFRGS, 2004.

SEIXAS, R. DE M. et al. Building Information Modeling (BIM) para gestão da segurança do trabalho em obras de habitações populares. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 3, p. 235–254, set. 2022.

SHAFIQ, M. T.; AFZAL, M. Improving Construction Job Site Safety with Building Information Models: Opportunities and Barriers. Em: **Proc. 37th CIB W78 Information Technology for Construction Conference (CIB W78)**. São Paulo: Springer, 2021. v. 98p. 1014–1036.

SULANKIVI, K.; KIVINIEMI, M.; MÄKELÄ, T. BIM-based Site Layout and Safety Planning. **VTT Symposium (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus)**, 2014.

VARGAS, F. B. DE; FORMOSO, C. T. Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 129–151, mar. 2020.

WANG, N. Ontology-Based Building Information Model Design Change Visualization. **Workshop on Linked Building Data and Semantic Web Technologies (WLS2019)**, 2019.

WANG, S. et al. Solutions for scalability in building information modeling and simulation-based design. **Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design**, abr. 2013.

YU, Q.; LI, K.; LUO, H. A BIM-based Dynamic Model for Site Material Supply. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 526–533, 1 jan. 2016.

ZHILIANG, M. et al. Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China. **Automation in Construction**, v. 20, p. 196–204, 16 jul. 2010.