

Building Information Modeling (BIM) para gestão da segurança do trabalho em obras de habitações populares

Building Information Modeling (BIM) for managing job security in low-income housing projects

Renato de Melo Seixas 

Luiz Mauricio Furtado Maués 

Carolina Caldas Neves Rosa 

Fabriccio de Almeida Oliveira 

Resumo

A construção civil possui características peculiares, como baixa comunicação entre os projetistas e os responsáveis técnicos pela execução da obra, além de grande rotatividade de operários, o que gera dificuldades para implantação de uma cultura de segurança eficaz. O surgimento de tecnologias vem contribuindo para a melhoria da comunicação e segurança, um exemplo é o Building Information Modeling (BIM), que possibilita a modelagem computacional da obra, que oferece dados detalhados do seu andamento ainda na fase de projeto. Esta pesquisa objetiva realizar a modelagem de uma obra vertical de interesse social. A modelagem baseou-se nos padrões estabelecidos pela NR 18. Finalizada a modelagem, os resultados foram confrontados com o cenário real da obra objetivando avaliar incompatibilidades com o que se é exigido pela NR. Para a modelagem utilizou-se os *softwares Revit, MS Project e Naviswork*. Concluiu-se que a obra não atendia alguns aspectos exigidos pela NR, além de falta de projetos, erros de dimensionamento e problemas de execução. Quanto aos responsáveis técnicos pela obra, foi avaliado que o uso do BIM em sua obra poderia trazer benefícios para o seu trabalho e facilitar a tomada de decisões.

Palavras-chave: Segurança do trabalho. BIM. Modelagem.

Abstract

Civil construction has peculiar characteristics such as low communication between the designers and the site managers, in addition to a high turnover of construction workers, which creates difficulties to implement an effective safety culture. The emergence of technologies has contributed to the improvement of communication and security, an example is Building Information Modeling (BIM) that allows the computational modeling of the work, which provides detailed data of its progress even in the design phase. This research aims to model a vertical work of social interest. The modeling was based on the standards defined by NR 18. After the modeling was completed, the results were compared with the real scenario of the construction, aiming to assess incompatibilities with what is required by NR. For modeling, the software Revit, MS Project, and Naviswork were used. It was concluded that the work did not meet some aspects required by NR, in addition to a lack of projects, design errors, and execution problems. As for the site managers, it was evaluated that the use of BIM in their construction sites could bring benefits to their work and facilitate decision making.

Keywords: Workplace safety. BIM. Modeling.

¹Renato de Melo Seixas

¹Universidade Federal do Pará
Belém - PA - Brasil

²Luiz Mauricio Furtado Maués

²Universidade Federal do Pará
Belém - PA - Brasil

³Carolina Caldas Neves Rosa

³Universidade Federal do Pará
Belém - PA - Brasil

⁴Fabriccio de Almeida Oliveira

⁴Universidade Federal do Pará
Belém - PA - Brasil

Recebido em 14/12/20

Aceito em 20/12/21

Introdução

A construção civil é uma das indústrias mais perigosas para ocorrência de acidentes devido ao seu ambiente de trabalho altamente dinâmico e complexo, particularizada por condições ambientais precárias, o que contribui para altas estatísticas de lesões no trabalho, doenças e fatalidades (GANAH; JOHN, 2015; HUSSAIN *et al.*, 2017; KAMARDEEN, 2018; MARTÍNEZ-AIRES; LÓPEZ-ALONSO; MARTÍNEZ-ROJAS, 2018).

Segundo Carter e Smith (2006), os operários da construção civil possuem um risco duas vezes maior de sofrer lesões graves e cinco vezes mais chances de serem mortos no trabalho se comparados a trabalhadores de outros setores produtivos. De acordo com Kiviniemi *et al.* (2011), cerca de 40% dos acidentes fatais ocorridos na construção civil acontecem em decorrência de quedas em altura e os acidentes não fatais ocasionam em média quatro dias de afastamento do posto de trabalho.

A construção civil possui características que dificultam a implantação de uma cultura prevencionista no setor, como a natureza temporária dos projetos, muitas vezes a distância física entre o escritório onde os projetos são criados e a obra onde ele será executado, e a grande rotatividade de operários são fatores que influenciam para que poucos trabalhadores recebam a correta formação em segurança, e baixo interesse por parte das empresas (SWUSTE; FRIJTERS; GULDENMUND, 2012).

Para tentar reverter esse cenário cabe à gestão de segurança a função de reconhecer perigos antes que ocorram acidentes, identificando possíveis fatores de risco para o ambiente de trabalho, sendo a falta desse controle uma das principais causas de acidentes de trabalho em canteiros (KIM; AHN, 2011; LI *et al.*, 2018). A prevenção de acidentes na fase de projetos é a fase ideal para influenciar os resultados na prevenção de riscos, com os projetistas possuindo forte influência na segurança de uma obra, podendo antecipar-se aos riscos, gerando medidas que visem atenuar e até mesmo eliminá-los (ESTRADA, 2015; KAMARDEEN, 2018; KEITH POTTS, 2018).

Nesse contexto esta pesquisa possui como objetivo geral criar um artefato utilizando-se os conceitos do *Design Science Research* (DSR) para realizar uma modelagem em BIM como ferramenta para auxiliar no reconhecimento de riscos, abordando os principais riscos relacionados à altura existentes no canteiro de obra alvo da pesquisa, além de realizar a modelagem dos principais equipamentos de proteção coletiva (EPC) utilizados na obra com o intuito de prevenir quedas em altura. Além disso, foram analisadas as incompatibilidades do cenário real da obra com as medidas que são definidas e recomendadas pela NR 18 e identificados os pontos críticos de riscos de acidentes em altura buscando contribuir com a especificação de melhorias para a obra e preencher lacunas existentes sobre o uso do BIM na região.

O problema de pesquisa adotado neste artigo é como criar um artefato através da ferramenta BIM para auxiliar os gestores da obra na análise do cenário atual no que diz respeito as condições dos EPC que visam garantir a segurança vertical dos trabalhadores em obras populares. Fato este identificado por meio da revisão sistemática da literatura (RSL), onde detectou-se essa lacuna do conhecimento.

Segurança do trabalho na construção civil e o BIM

Legislação brasileira

A NR 18 surgiu em 1978, e sofreu diversas atualizações para adequar-se às necessidades do setor da construção civil e atualizar procedimentos. Atualmente a NR 18 (BRASIL, 2021) encontra-se com a sua última atualização ocorrida em fevereiro de 2020. Em sua seção 18.9 trata de medidas de proteção contra queda em altura, que é o objeto de estudo desta pesquisa, mais especificamente os EPC guarda-corpo e bandejas de proteção. As definições dos EPC utilizados nesta pesquisa são guarda-corpo e bandejas de proteção.

Guarda-corpo

Segundo a Fundacentro (2003), o guarda-corpo é um sistema designado para proteção contra quedas de pessoas e materiais, que se deve constituir de material rígido e resistente, fixados e instalados nos pontos de plataformas, áreas de trabalho e circulação de pessoas onde possa existir o risco de queda.

A recomendação técnica de procedimentos (RTP) 01 da Fundacentro (2003), determina que um guarda-corpo deva possuir três travessões de madeira horizontais, sendo que o travessão inferior deve possuir uma altura de 0,20 m, o travessão intermediário uma altura de 0,70 m e o travessão superior uma altura de 1,20

m, além disso deve possuir um travessão vertical, denominado montante, que deve possuir um espaçamento máximo de 1,5 m entre cada um.

A NR 18 (BRASIL, 2021) especifica o uso de telas para o fechamento entre os vãos dos travessões dos guarda-corpos, elas devem possuir resistência de 150 kgf/metro com malha de abertura compreendida entre 20 e 40 mm ou material de resistência e durabilidade equivalente.

Bandejas de proteção

Segundo a NR 18 (BRASIL, 2021), as bandejas de proteção são plataformas rígidas e dimensionadas para resistir aos prováveis impactos a que estarão sujeitas. Edificações que possuam a partir de quatro pavimentos ou altura equivalente são obrigadas a instalar as bandejas de proteção primárias em todo o perímetro da obra e de três em três lajes devem ser instaladas bandejas de proteção secundárias.

A NR 18 estabelece que as bandejas de proteção primária devem possuir no mínimo 2,50 m de projeção horizontal em relação à face externa da construção e um comprimento de 0,8 m de extensão a 45° da sua extremidade. Em edificações com a necessidade de bandejas secundárias elas devem possuir no mínimo 1,40 m de projeção horizontal em relação à face externa da edificação e 0,80 m de extensão a 45°.

A retirada das bandejas de proteção primárias deve ocorrer quando o revestimento externo da edificação que esteja localizado acima estiver concluído, enquanto as bandejas de proteção secundárias apenas podem ser retiradas quando a vedação da periferia até a plataforma imediatamente superior estiver concluída.

Existe um terceiro tipo de bandeja de proteção que compreende projetos com subsolo, onde há necessidade de instalação de bandejas de proteção terciárias, que devem ser instaladas a cada duas lajes, contadas em direção ao subsolo, a partir da laje de instalação da bandeja primária. Elas devem possuir no mínimo 2,20 m de projeção horizontal da face externa da construção e um complemento de 0,8 m de extensão, com uma inclinação de 45° a partir da sua extremidade.

Cenário da segurança do trabalho no Brasil e no estado do Pará

Através dos dados de Brasil (2017), no anuário estatístico de acidentes do trabalho, observou-se que o total de acidentes do trabalho entre todos os setores produtivos no período de 2015 a 2017 correspondeu respectivamente a 507.755, 478.039 e 450.614. Na construção civil a atividade que mais registrou ocorrências de acidentes foi a de “construção de edifícios”, que correspondeu no mesmo período de 2015 a 2017 a uma média de 2% do total de acidentes do trabalho ocorridos no Brasil.

Com base no cenário nacional, foi realizada uma coleta de dados de acidentes de trabalho, referentes aos anos de 2016 e 2017, na Secretaria de Trabalho do Estado do Pará. Os dados foram fornecidos em formato *Excel*, com informações de todos os setores produtivos. Foi realizado um tratamento de dados buscando filtrar apenas os acidentes de trabalho ocorridos na construção civil.

O estado do Pará registrou nos anos de 2016 e 2017, respectivamente, o total de 7.310 e 7.309 acidentes do trabalho. Do total de acidentes o ramo de atividade “construção de edifícios” também representou o maior número de acidentes, correspondendo em 2016 ao total de 4,27% e em 2017 ao total de 3,04%.

No estado do Pará a profissão da construção civil com maior número de acidentes do trabalho no período avaliado foi de servente de obras, que correspondeu a 25,73% em 2016 e 23% em 2017 do total de acidentes ocorridos na construção civil, seguido dos cargos de eletricitista de manutenção com 15,73% do total de 2016 e 17,21% em 2017, e em terceiro lugar está o cargo de pedreiro com 11,29% do total em 2016 e 11,22% em 2017.

A maior incidência de acidentes ocorridos com os serventes pode ser atribuída a sua exposição em diversas atividades dentro do canteiro, uma vez que o cargo pode ser alocado em diversas etapas da obra.

Foi realizado um levantamento dos acidentes ocorridos de acordo com o ramo de atuação, esta classificação foi embasada de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), presente na NR 04 (BRASIL, 2016). Com relação ao ramo de atividade dentro da construção civil com maior ocorrência de acidentes no estado do Pará está a atividade “construção de edifícios”, que corresponde a 50,90% do total de acidentes em 2016 e 36,22% em 2017.

Building Information Modeling (BIM)

O BIM é uma representação digital, que retrata a modelagem tridimensional de um projeto, especificando características físicas e funcionais de uma construção, podendo ser classificado como um processo integrado que permite aos projetistas discutir e explorar o projeto possibilitando a eliminação de incompatibilidades. A utilização do BIM vem crescendo devido aos resultados visuais possibilitarem a obtenção de informações do projeto com maior riqueza de detalhes, oferecendo melhores parâmetros para a tomada de decisões, estando diretamente ligados à melhora da qualidade de projeto, custos e detalhes de avaliação de riscos e planejamento de segurança (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015; GAO; CHEN, 2017; MELZNER, 2017; ZHANG *et al.*, 2015b).

Segundo Sadeghi (2016), a utilização do BIM permite a diminuição da ocorrência de acidentes relacionados a questões de segurança, com os riscos sendo mais facilmente percebidos pelos profissionais responsáveis pelos projetos, permitindo a modelagem de diversos equipamentos de segurança e medidas preventivas.

Informações extraídas de projetos em BIM podem ser usadas para comparar cenários de construção, bem como apoiar a tomada de decisões no planejamento e controle da produção, podendo melhorar a qualidade das informações de projeto e estabelecer mecanismos e procedimentos para que informações sejam comunicadas e compartilhadas entre a equipe do projeto (GETULI *et al.*, 2017; VARGAS; BATAGLIN; FORMOSO, 2018).

Com o uso do BIM a identificação de riscos de uma obra pode ser mais rápida e fácil, porém essa identificação é mais eficiente se realizada ainda na etapa de projeto, permitindo que os projetistas consigam planejar com melhor qualidade o leiaute do canteiro, estabelecendo os melhores lugares para instalações de itens de segurança e fluxos de passagem, tudo isso a um custo menor se comparado a modificações necessárias se os riscos forem identificados durante a execução da obra (ENSHASSI; AYYASH; CHOUDHRY, 2016; ZHUANG *et al.*, 2016).

No cenário mundial países como Singapura se mostram empenhados na implantação de projetos executados em BIM. Em Hong Kong 78% dos membros da sociedade de auditores de segurança relataram enormes benefícios do uso do BIM na segurança do trabalho. (ENSHASSI; AYYASH; CHOUDHRY, 2016; XIONG; TANG, 2017).

Na Turquia o governo possuía como meta exigir que todos os projetos fossem totalmente colaborativos e em formato BIM 3D até o ano de 2016. Na Europa Ocidental 36% dos integrantes da indústria da construção civil se mostravam comprometidos a incluir a metodologia BIM em seus projetos até o ano de 2010 (ALADAG; DEMIRDÖGEN; ISIK, 2016; MARTÍNEZ-AIRES; LÓPEZ-ALONSO; MARTÍNEZ-ROJAS, 2018).

No cenário nacional há recentes incentivos por meio do governo federal para a utilização do BIM. Em 2019 houve a publicação do Decreto nº 9.983 (BRASIL, 2019), que instituiu a estratégia nacional de disseminação do BIM, que possui objetivos específicos, buscando estimular e fornecer condições para o aumento de sua utilização em território nacional.

No ano seguinte, em 2020, foi publicado o Decreto nº 10.306 (BRASIL, 2020), que determina a utilização do BIM na aplicação direta ou indireta de obras e serviços de engenharia que forem realizados por órgãos e entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling, que foi instituído pelo decreto nº 9.983 (BRASIL, 2019).

A necessidade desta pesquisa se deve à lacuna do conhecimento sobre a utilização do BIM na realidade amazônica. Ainda existem poucos estudos realizados dentro do contexto local e a sua utilização ainda é muito pequena dentro da Região Norte do Brasil.

Segundo Checcucci (2019), foram realizados 143 trabalhos de mestrado e doutorado no Brasil abordando o tema BIM entre os anos de 2013 e 2018, sendo 19 teses de doutorado, 105 dissertações de mestrado acadêmico e 19 dissertações de mestrado profissional. A região com maior número de trabalhos foi a Região Sudeste, com o total de 73, e a região com menor número de trabalhos foi a Região Norte, com apenas uma dissertação de mestrado acadêmico, realizada no estado do Pará.

Método

Este estudo utiliza-se do Design Science Research (DSR) como procedimento de pesquisa, buscando aproximar a teoria e a prática desenvolvendo e projetando soluções para melhorar sistemas existentes com a criação de um artefato preenchendo uma lacuna do conhecimento presente na literatura (DRESCH, 2013; KATER; RUSCHEL, 2020; LUKKA, 2003; VARGAS; FORMOSO, 2020).

O desenvolvimento desta pesquisa segue os objetivos metodológicos do Design Science Research (DSR) (BÖES; BARROS NETO; LIMA, 2021; HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009; KATER; RUSCHEL, 2020), que são caracterizados da seguinte forma:

- (a) compreensão da problemática e lacuna do conhecimento;
- (b) projeto e desenvolvimento de um artefato; e
- (c) análise do artefato e seu comportamento.

O desenvolvimento desta pesquisa foi dividido em três fases, obedecendo, rigorosamente, aos objetivos metodológicos do DSR, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Fases da pesquisa

Fase 1	Compreensão da problemática e lacuna do conhecimento	Examinar o potencial da pesquisa de acordo com as lacunas do conhecimento existentes	Definir o objeto da pesquisa, de acordo com lacunas encontradas na literatura e a importância dessa solução para a sociedade.
		Pesquisa aprofundada sobre o tema	Fundamentação teórica com a realização de revisão sistemática da literatura (RSL). - Utilizou-se a seguinte string de pesquisa: ((Construction OR “Construction Industry” OR “Construction project”) AND (“Construction safety” OR Accidents OR “safety Engineering”) AND (BIM OR “Building Information Model (BIM)” OR “Building Information Modeling”)); - Como resultado final foram utilizados 23 artigos que apresentavam forte relevância para o tema.
Fase 2	Projeto e desenvolvimento de um artefato	Escolha de local de pesquisa e coleta de dados	- Escolha de uma obra vertical, na cidade de Belém/PA; - Realizada coleta de informações de projetos e orçamentos da obra.
		Propor uma solução inovadora que resolva problemas reais	- Modelagem da obra em BIM, seguindo quesitos de segurança do trabalho, de acordo com as Normas Regulamentadoras (NRs)
		Executar a solução e testar sua eficácia	- Comparação da modelagem realizada em BIM com o cenário real da obra, avaliando inconsistências com o que se é exigido pelas NRs.
Fase 3	Análise do artefato e seu comportamento	Avaliar a aplicabilidade do artefato	- Demonstração da modelagem para os responsáveis técnicos pela obra com suas respectivas avaliações de aplicabilidade prática do artefato.
		Identificar e analisar as contribuições da pesquisa	- Discussão dos resultados práticos considerando o potencial de solução e limitações (impactos, posicionamentos e mudanças) do artefato gerado.

Problematização da pesquisa

Para a realização da pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, no ano de 2019, com o intuito de entender melhor o contexto de pesquisa pretendido. Foi criada uma *string* de pesquisa (ver Quadro 1) que buscou de forma mais aderente possível contemplar artigos relevantes com o tema abordado.

Foi criado um protocolo de pesquisa que estabelecia regras para aceitação dos artigos como: tempo de publicação inferior a 5 anos, estar publicado em periódico reconhecido pela Capes, estar publicado em inglês, português ou espanhol, possuir tema relacionado à construção civil, possuir tema relacionado a BIM e possuir acesso livre na internet.

Na revisão sistemática da literatura foram encontrados inicialmente 906 trabalhos. Foram realizadas três rodadas de análises dos artigos que contemplaram respectivamente os seguintes critérios: relevância com o tema e eliminação de artigos com baixo grau de importância para a pesquisa, de acordo com entendimento do autor após ler o artigo.

Após essa fase restaram 23 artigos que possuem alta relevância com o tema da pesquisa, e foram utilizados para embasar cientificamente e metodologicamente o desenvolvimento desta pesquisa. Os artigos utilizados podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 - Artigos utilizados da revisão sistemática da literatura (RSL) (Continua...)

ID	Título	Autor	País	Estágio	Softwares utilizados
1	BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction	Hongling <i>et al.</i> (2016)	China	- Projeto	-Revit; -Unity 3D
2	Integrating Building Information Modeling and Health and Safety for Onsite Construction	Ganah e John (2015)	Inglaterra	-Revisão da literatura	-
3	Reviewing the usefulness of BIM adoption in improving safety environment of construction projects	Sadeghi <i>et al.</i> (2016)	Irã	-Projeto	-Revit
4	Using BIM to Automate Scaffolding Planning for Risk Analysis at Construction Sites	Feng e Lu (2017)	Taiwan	-Projeto; -Construção	-Revit; -Navisworks
5	Beyond the Third Dimension of BIM: A Systematic Review of Literature and Assessment of Professional Views	Charef, Alaka e Emmitt (2018)	Inglaterra	Revisão da literatura	-
6	Methodologies of safety risk control for China's metro construction based on BIM	Li <i>et al.</i> (2018)	China	-Projeto; -Construção	-BIM SQL
7	Near-Miss Information Visualization Tool in BIM for Construction Safety	Shen e Marks (2016)	Estados Unidos	-Projeto	-Revit
8	Bim-Based Risk Identification System in tunnel construction	Zhang <i>et al.</i> (2015a)	China	-Projeto	-Revit
9	BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction	Hongling <i>et al.</i> (2016)	China	-Projeto	-Revit; -Unity 3D
10	BIM-based code checking for construction health and safety	Getuli <i>et al.</i> (2017)	Italia	-Projeto	-Revit; -Solibri Model Checker

Quadro 2 - Artigos utilizados da revisão sistemática da literatura (RSL) (continuação)

11	Developing a BIM-enabled Bilingual Safety Training Module for the Construction Industry	Clevenger <i>et al.</i> (2019)	Estados Unidos	-Projeto; -Execução	-Adobe Captivate 6; -Revit
12	Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM	Kim, Cho e Zhang (2016)	Estados Unidos	-Projeto	-Revit; -Microsoft Project
13	The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation	Migilinskas <i>et al.</i> (2015)	Lituania	-Projeto; -Pré-construção	-Revit; -STAAD.Pro; -Bentley Navigator
14	Investigating Safety Passage Planning for System Shoring Supports with BIM	Zhuang <i>et al.</i> (2016)	Taiwan	-Projeto	-Revit
15	Risk identification expert system for metro. construction based on BIM	Zhang <i>et al.</i> (2016)	China	-Projeto; -Construção	-Revit
16	Integration of Safety Risk Factors in BIM for Scaffolding Construction	Collins <i>et al.</i> (2014)	Estados Unidos	-Projeto	-Revit -Plug-in desenvolvido pelo autor
17	Building information modeling and safety management: A systematic review	Martínez-Aires, López-Alonso e Martínez-Rojas (2018)	Espanha	-Revisão da literatura	-
18	A review of risk management through BIM and BIM-related technologies	Zou, Kiviniemi e Jones (2017)	Inglaterra	-Revisão da literatura	-Revit -Archicad
19	UAS-BIM based Realtime Hazard Identification and Safety Monitoring of Construction Projects	Alizadehsalehi <i>et al.</i> (2019)	Chipre	-Projeto; -Construção	-Revit -Unmanned Aerial System (UAS)
20	Research on Construction Safety Management Based on BIM -- Taking the Direction of Construction Engineering as an Example	Xiong e Tang (2017)	China	-Projeto	-Revit; -Microsoft Project; -Navisworks
21	BIM for construction safety improvement in Gaza strip: awareness, applications and barriers.	Enshassi, Ayyash e Choudhry (2016)	Gaza	-	-
22	Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index	Teo <i>et al.</i> (2016)	Singapura	-Projeto	-Revit
23	Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study	Chien, Wu e Huang (2014)	Taiwan	-	-

Após a análise dos artigos verificou-se que ainda existe uma lacuna do conhecimento quanto ao uso do BIM na segurança do trabalho. Constatou-se que a melhor etapa de um empreendimento para prevenção de acidentes ocorre ainda na fase de projetos, em que os custos e esforços para modificações são menores se comparados a outras etapas da construção. Por esse motivo optou-se por realizar um estudo contemplando a fase de projetos, abordando os principais EPC relacionados à queda em altura e compará-los ao cenário real da obra, gerando um constructo ao final da pesquisa.

Características da obra adotada na pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa foi escolhido uma obra de empreendimento vertical de prédios populares na cidade de Belém, PA. O empreendimento possui 13 torres construídas em estrutura de concreto com alvenaria de vedação convencional que possuem 4 andares. As torres possuem quatro apartamentos por andar, com 53 m cada uma.

A importância desse tipo de obra para a pesquisa se deve ao baixo número de obras públicas, como a obra-alvo da pesquisa, que aborda empreendimentos do programa de habitação do governo federal denominado de Minha Casa Minha Vida, com o uso de modelagem BIM para processos de segurança do trabalho e pelo surgimento de novas exigências que demandam o uso do BIM em obras públicas baseadas nos decretos nº 9.983 (BRASIL, 2019) e nº 10.306 (BRASIL, 2020).

Durante a pesquisa o empreendimento contava com o total de quarenta e oito operários, dois engenheiros civis e dois técnicos em edificações. Quanto aos responsáveis pela segurança do trabalho, na respectiva obra, tinha-se um técnico de segurança do trabalho, um técnico de enfermagem do trabalho e um engenheiro de segurança do trabalho que era responsável por todas as obras da empresa, o qual realizava de uma a duas visitas semanais.

Modelagem computacional

Para iniciar a modelagem foram necessárias visitas ao canteiro para a coleta de informações da dinâmica da obra, além de obtenção de projetos executivos, projetos de segurança do trabalho e o planejamento da execução do empreendimento.

Para a realização da modelagem foram utilizados os *softwares Autodesk Revit, Microsoft Project e Autodesk Naviswork*. Cada *software* apresentou as seguintes contribuições para a pesquisa, como mostra a Figura 1.

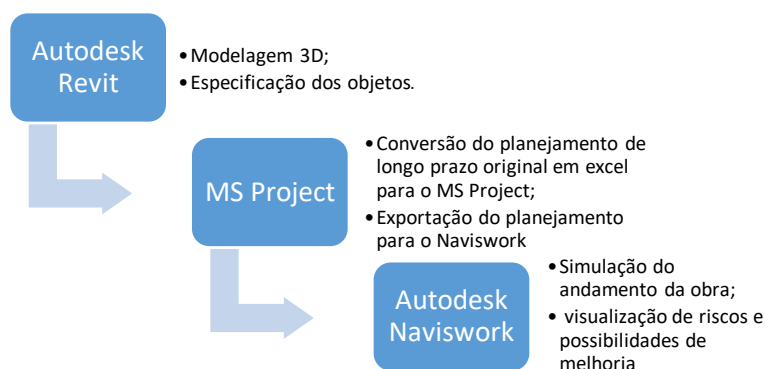
Comparativo com o cenário real da obra e propostas de melhorias

Finalizada a modelagem do empreendimento através do BIM, foi realizada a comparação do projeto modelado em uma situação ideal, obedecendo às especificações da NR 18 e ao cenário real da obra.

A comparação objetiva avaliar possíveis incompatibilidades e falhas na execução de medidas de proteção de queda em altura originalmente projetadas em 2D. A comparação avaliou principalmente requisitos como dimensionamento, espaçamento e estado de preservação dos EPC avaliados.

Finalizada a comparação *in loco* foi realizada a apresentação dos resultados aos responsáveis técnicos da obra para que eles pudessem ser discutidos, foi avaliada a aceitação do engenheiro residente e da técnica de segurança da obra sobre a utilização do BIM e como a sua utilização poderia trazer melhorias para o ambiente da obra e, por fim, foram indicadas melhorias para os EPC de acordo com observações realizadas.

Figura 1 - Estruturação do uso dos softwares



Resultados e discussões

Como já descrito anteriormente o objetivo deste trabalho foi criar um artefato para preencher a lacuna do conhecimento quanto à análise e verificação das condições dos EPC para garantir o cumprimento das exigências estabelecidas na NR 18 (BRASIL, 2021). Nesse sentido descreve-se a seguir os resultados das etapas de desenvolvimento deste artefato.

Nesta etapa, o artefato foi desenvolvido através de modelagens em BIM utilizando os projetos originais da obra analisada. A criação do artefato realizou-se com diversas interferências dos responsáveis técnicos da obra, com o intuito de amadurecer o modelo e torná-lo o mais próximo da realidade do canteiro. Após a intervenção dos responsáveis técnicos da obra, com a sua respectiva aprovação quanto a sua possível aplicação prática no canteiro, os resultados foram discutidos de forma a sugerir melhorias para o cenário atual, de acordo com a modelagem realizada.

Modelagem software Revit

A partir dos projetos arquitetônicos, estrutural e de fundação iniciou-se a modelagem, que consiste em um prédio de quatro andares em estrutura de concreto e alvenaria de vedação convencional. Também foi realizada a modelagem dos guarda-corpos e da bandeja de proteção primária.

Durante a realização da modelagem houve a necessidade de modelar os elementos de proteção contra queda em altura, uma vez que não é encontrada uma família para estruturas temporárias, o que também foi apontado por Estrada (2015) e Matos (2014), desse modo os elementos foram modelados e posteriormente exportados para o projeto.

A modelagem obedeceu às exigências da NR 18, além das informações presentes no Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria de Construção (PCMAT) da obra, sendo executado um modelo ideal que deverá ser comparado com o cenário real da obra, nas etapas seguintes da pesquisa. Na Figura 2 observa-se o desenvolvimento inicial da obra projetado no *Revit*, ainda sem a inclusão do fator tempo, que foi incluído posteriormente no *MS Project* para simulação no *Naviswork*.

Para se iniciar a modelagem como mostrado na Figura 2, devem ser executas as ferragens de ancoragem para a colocação das mãos francesas, que devem ser fixadas na estrutura do vigamento da laje durante a concretagem. Finalizada a colocação das bandejas de proteção primária, deve-se iniciar a colocação dos guarda-corpos. Eles devem obedecer aos parâmetros exigidos pela NR 18 (BRASIL, 2021) como alturas dos travessões e espaçamentos máximos dos montantes.

Na Figura 3 observa-se o início dos fechamentos das bordas das lajes com a substituição dos guarda-corpos pela alvenaria de vedação definitiva. O fechamento das bordas de laje segue a execução cronológica dos andares mais baixos para os andares mais altos.

Na Figura 4 observa-se a obra em sua etapa final, com a finalização dos fechamentos de vedação em alvenaria, assim como a estrutura de telhamento e pintura externa da edificação concluídos.

Para prosseguir com o desenvolvimento da pesquisa se fez necessária a utilização do planejamento da obra, no *software MS Project*, que serviu de base para a utilização do *software Naviswork*, onde foi realizada a simulação da obra.

Figura 2 - Modelagem 3D inicial do empreendimento



Figura 3 - Modelagem 3D intermediária do empreendimento



Figura 4 - Modelagem 3D estágio final do empreendimento



Importação do planejamento para o software MS Project

Devido ao software *Naviswork* não realizar o planejamento e apenas ligar as atividades aos objetos do projeto 3D, sendo caracterizado apenas como um visualizador, há a necessidade de utilizar-se de outros softwares para complementar a sua utilização. No caso desta pesquisa utilizou-se o *MS Project*, esse aspecto também pode ser observado nas pesquisas de Estrada (2015), Marques (2019) e Berdeja (2014).

O planejamento da obra encontrava-se em Excel, sendo necessário realizar a importação para o *MS Project*, de modo a compatibilizar o planejamento com o formato de arquivo aceito pelo *Naviswork*, que realizou a simulação do andamento da obra.

Para importar o planejamento para o *Naviswork* foram necessárias modificações no planejamento original, sendo essa uma das contribuições desta pesquisa para a obra analisada, uma vez que a inclusão de atividades que contemplem questões relacionadas à segurança do trabalho permite que o responsável técnico da obra possa identificar atividades que necessitem de maior atenção para serem executadas e dessa forma se antecipar às necessidades exigidas pela atividade, com a realização de treinamentos de funcionários e obtenção de EPI e EPC necessários.

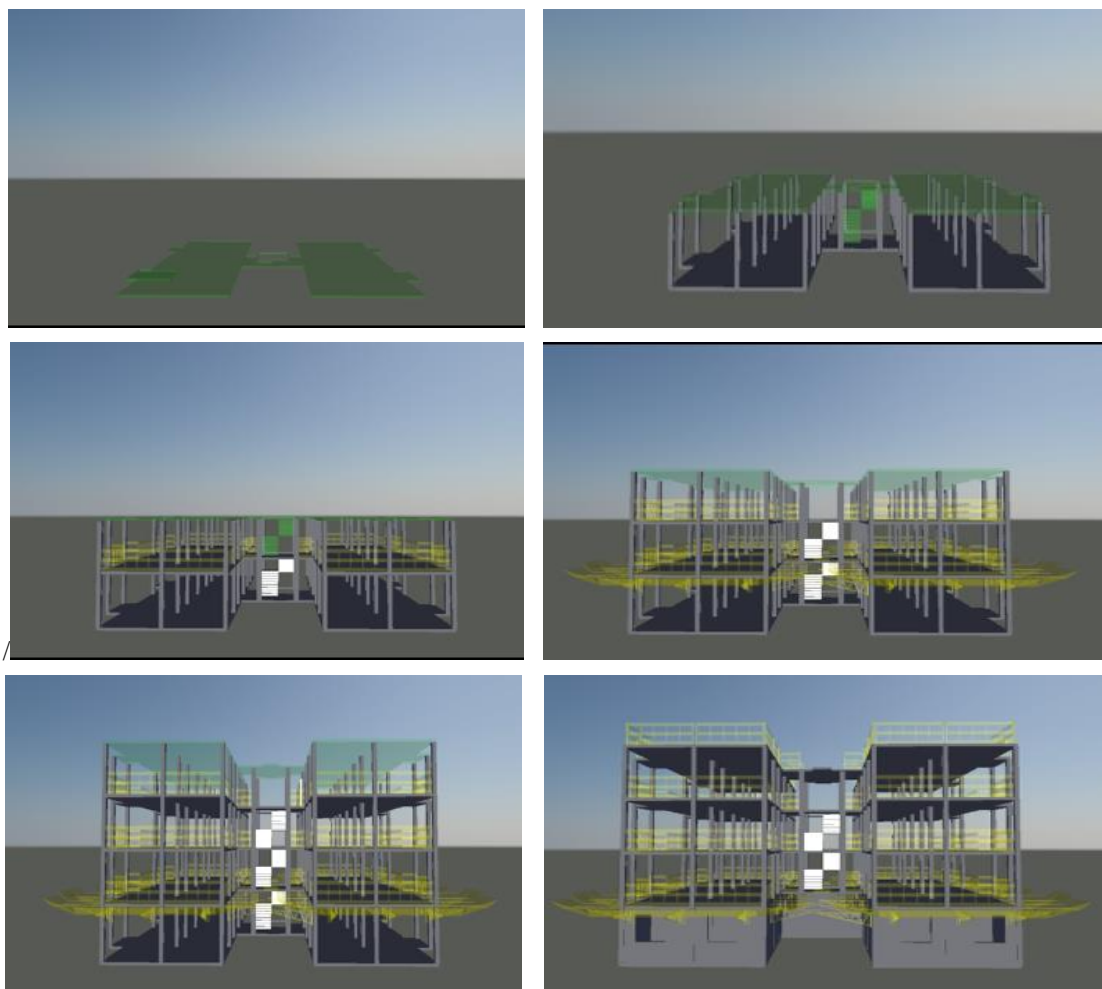
As modificações realizadas no planejamento original consistem na inserção das atividades relacionadas à execução das estruturas temporárias referentes a guarda-corpos e bandejas de proteção. Os ajustes ocorreram para que na simulação da obra se pudesse verificar o seu andamento com os elementos de proteção avaliados nesta pesquisa.

Simulação no software Naviswork e comparação com o cenário real

Na Figura 5 a estrutura é executada e o guarda-corpo e a bandeja de proteção primária são instalados. Na sequência da simulação, as imagens de coloração verde representam os elementos construtivos que serão construídos e ficarão em caráter permanente, e em amarelo estão representados os elementos de caráter temporário como os guarda-corpos que serão substituídos pela alvenaria de vedação e bandejas de proteção que serão retiradas após a finalização do telhamento.

O cenário real da obra apresentava incompatibilidades com as exigências da NR 18 (BRASIL, 2021). Quase a totalidade dos guarda-corpos encontrava-se fora dos padrões, principalmente em relação às especificações de alturas dos travessões e distâncias dos montantes.

Figura 5 - Simulação 4D das etapas iniciais do empreendimento



Muitos guarda-corpos apresentavam problemas relacionados à manutenção como quebras das peças de madeira que os constituem e peças sem a estabilidade necessária. Na Figura 6 observa-se o cenário ideal modelado e o cenário real encontrado no canteiro.

Foram encontradas improvisações nos guarda-corpos das extremidades das lajes, onde em alguns casos foram encontradas peças de compensado servindo de guarda-corpo, como pode ser observado na Figura 7.

Durante a simulação da obra percebeu-se que, de acordo com o planejamento fornecido, foram executadas todas as estruturas do prédio com a colocação de guarda-corpos em todos os pavimentos e somente após finalizada a etapa de estrutura no último andar foi realizada a execução da alvenaria de vedação.

Foi observado que poderia ocorrer uma diminuição de custos se houvesse a otimização do projeto de guarda-corpo com o planejamento, de modo a evitar que houvesse a execução dos guarda-corpos ao mesmo tempo em quatro pavimentos. A otimização de projetos também foi apontada nas pesquisas de Eastman (2018), Silva, Crippa e Scheer (2019) e Pitake (2013) como uma das vantagens do uso do BIM na construção civil.

Para a otimização da execução dos guarda-corpos, o autor contribuiu com a recomendação de que em possíveis novas utilizações de guarda-corpos na obra, em outras torres, que após o período de cura do concreto da laje acima do andar que contém os guarda-corpos e retirada do seu escoramento, a equipe responsável pela alvenaria iniciasse seus trabalhos no andar onde foi retirado os escoramentos, permitindo que o material utilizado nos guarda-corpos seja desmontado, transportado e remontado nos andares superiores, gerando diminuição de gastos com materiais e diminuição da quantidade de resíduos que seriam gerados ao final do processo.

Figura 6 - Guarda-corpo das escadas

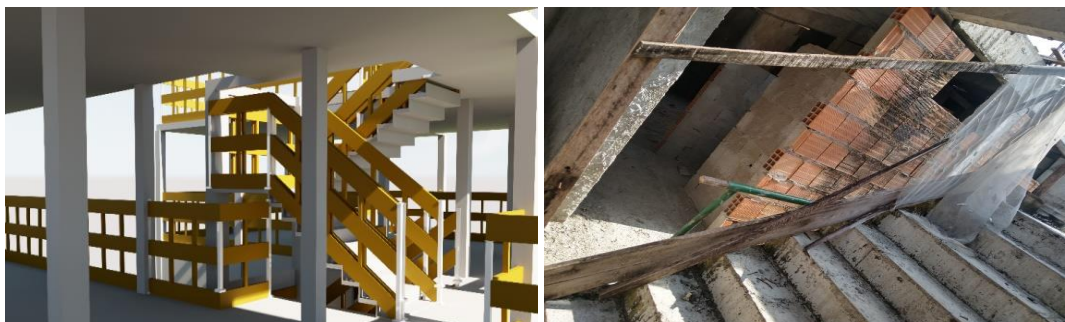


Figura 7 - Comparação da modelagem e o cenário dos guarda-corpos



Na Figura 8, observam-se as etapas finais do desenvolvimento da obra. Nessa fase os guarda-corpos são retirados da modelagem dando lugar à alvenaria de vedação que é inserida nesta etapa.

Segundo a NR 18 (BRASIL, 2021), a retirada da bandeja de proteção deve ocorrer após a finalização do revestimento externo superior à bandeja. Porém na obra avaliada optou-se pela utilização de plataforma elevatória tipo “tesoura”, para a execução desse serviço. Desse modo a bandeja de proteção primária foi retirada antes da execução do revestimento externo, todavia sem impactos na segurança, uma vez que a área próxima à plataforma elevatória era isolada durante a execução do serviço.

Na comparação realizada entre a modelagem e o projeto de bandejas de proteção existente, presente na Figura 9, constatou-se que o projeto atendia as especificações exigidas com apenas o equívoco de que em

partes onde a estrutura possuía ressaltos as bandejas primárias possuíam medidas inferiores a 2,50 m, não atendendo o que é exigido pela NR 18 (BRASIL, 2021).

Na Figura 9, é possível identificar o ponto de inconformidade no projeto de bandeja, através dos círculos enumerados. No círculo enumerado 1 é identificada a inconformidade encontrada. Nesse ponto a edificação apresenta em seu projeto um detalhe arquitetônico de aproximadamente 1 m. A inconformidade está no fato do projeto apresentar, nesse ponto, a bandeja de proteção primária com uma dimensão de 1,50 m, abaixo do valor recomendado pela NR 18 (BRASIL, 2021). No ponto enumerado 2, identifica-se o tamanho correto da bandeja.

Na Figura 10, observam-se imagens das bandejas de proteção na obra, onde não foram encontradas as falhas apresentadas no projeto. Segundo o engenheiro residente, o erro foi constatado e corrigido no momento da concepção das bandejas. Percebeu-se que em algumas partes do perímetro da edificação as bandejas de proteção encontravam-se com sinais de falta de manutenção, além de pontos de solda danificados e perfis quebrados, diminuindo ou mesmo anulando a sua proteção.

Figura 8 - Simulação 4D das etapas finais do empreendimento

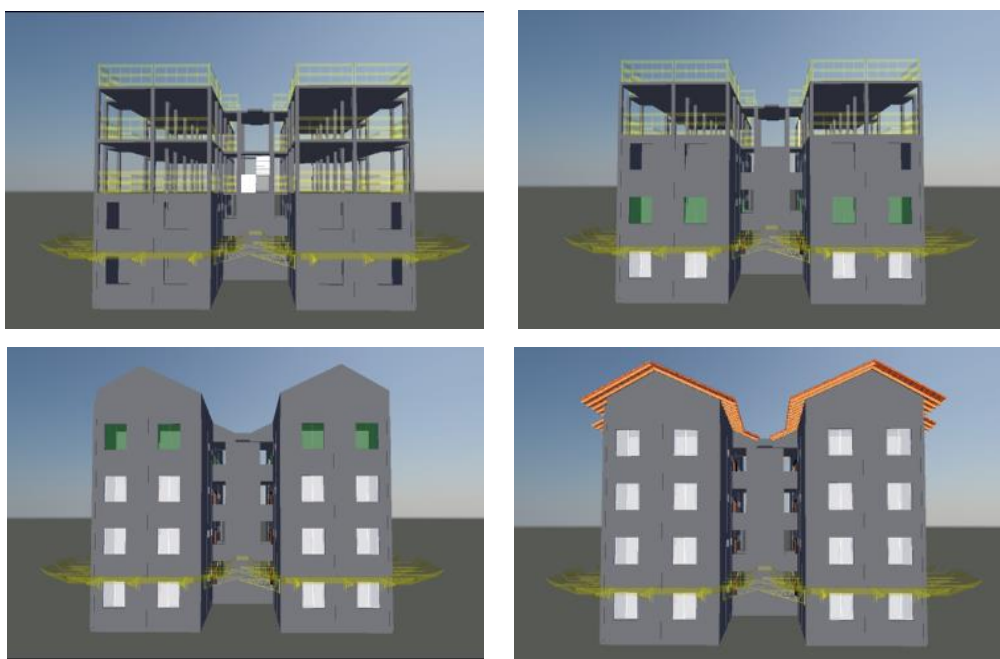


Figura 9 - Projeto original de bandejas primárias

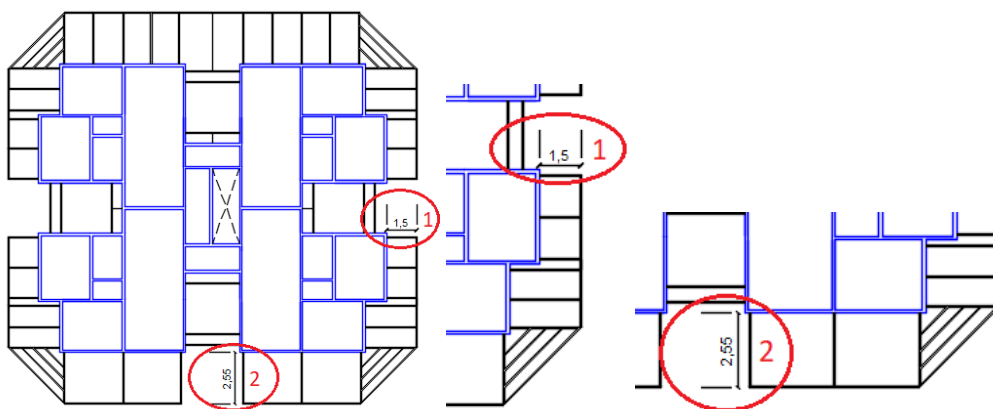


Figura 10 - Cenário real das bandejas de proteção encontradas na obra



Durante a pesquisa, a construtora foi autuada pela empresa fiscalizadora do contrato, que é responsável por avaliar o desenvolvimento da obra. As incoerências encontradas no laudo fornecido pela construtora, são as seguintes:

- (a) mãos francesas executadas com perfis metálicos de espessuras diversas variando de 1 mm até 4 mm, não obedecendo às especificações de 1 projeto;
- (b) pontos de ancoragem das peças no concreto das paredes/lajes não foram executados em sua totalidade, comprometendo a segurança do conjunto; e
- (c) mãos francesas com pontos de solda realizados sem critérios técnicos.

Finalizada a modelagem e efetuada a comparação entre o modelo feito em BIM e o cenário encontrado no canteiro, apresentaram-se os resultados aos responsáveis técnicos da obra para avaliação.

Apresentação dos comparativos aos responsáveis técnicos da obra

Os resultados da modelagem de guarda-corpo e bandeja de proteção primária e a análise comparativa da modelagem com o cenário real da obra foram apresentados para o engenheiro civil e a técnica de segurança da obra.

Os dados inicialmente foram apresentados à técnica de segurança, que afirmou que algumas das dificuldades presentes na execução do seu trabalho poderiam ser atenuadas com o uso do BIM. As possibilidades de melhorias apontadas por ela foram as seguintes:

- (a) possibilidade de reportar necessidades com mais facilidade para seus superiores, tornando a visualização mais fácil, ajudando no seu trabalho de convencimento sobre a necessidade de melhorias e serviços relacionados à segurança do trabalho; e
- (b) possibilidade de realização de diálogo diário de segurança (DDS) e diálogo semanal de segurança (DSS), em que a demonstração dos riscos ao qual os trabalhadores estão expostos poderia facilitar a educação deles e tornar o seu trabalho mais didático e simples.

As conclusões obtidas pela técnica de segurança da obra ratifica a conclusão obtida por Martinez-Aires, López-Alonso e Martínez-Rojas (2018), que conclui que o uso do BIM pode ajudar no treinamento e educação de segurança dos trabalhadores, além de contribuir para o planejamento de tarefas de segurança como: análise de risco, planejamento de instalações e manutenções de equipamentos.

Com relação ao engenheiro civil, a sua avaliação concluiu que o uso do BIM no canteiro poderia trazer possibilidades de melhoria para a obra, entre elas:

- (a) melhor visualização de problemas nos projetos e no planejamento como, por exemplo, a falta de otimização durante a execução dos guarda-corpos, sendo executados em todos os andares simultaneamente, sendo uma das principais observações apontadas por ele; e
- (b) possibilidade de quantificar os materiais necessários para os guarda-corpos, extraindo essas informações diretamente do modelo BIM e assim ser realizada um melhor planejamento financeiro. No cenário real da obra os quantitativos relacionados aos EPC estudados nesta pesquisa não foram mensurados no planejamento físico-financeiro, sendo uma falha da equipe técnica da obra, uma vez que eles também podem ser obtidos na composição do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI). Sendo eles adquiridos de acordo com a necessidade da obra, sem uma programação previa por parte dos gestores.

Propostas de melhorias para a obra

Elaboração de um planejamento exclusivo para serviços e tarefas ligadas à segurança do trabalho

Uma falha apontada aos responsáveis da obra foi a falta de um planejamento que atendesse, exclusivamente, as necessidades dos serviços de segurança do trabalho. A sugestão foi bem aceita pelos responsáveis técnicos da obra e desse modo foi sugerida a inclusão no planejamento de segurança de itens como:

- (a) realização de palestras;
- (b) realização de DSS;
- (c) treinamentos;
- (d) planejamento do processo de montagem e desmontagem de linha de vida;
- (e) planejamento do processo de montagem e desmontagem de EPC (guarda-corpo e bandeja de proteção);
- (f) planejamento de execução de testes de carga; e
- (g) planejamento de vistorias para avaliação das condições de segurança dos EPC.

Melhorar o isolamento da obra próximo a vizinhança

O isolamento do perímetro do canteiro encontrava-se deficiente, como mostra a Figura 11. Verificou-se que não existe uma barreira física eficaz para a contenção de pessoas externas à obra. Em uma das visitas à obra foi observada a presença de criança em seu interior, fato preocupante para a ocorrência de acidentes.

Realizou-se a sugestão de imediato fechamento do perímetro da obra, com a utilização de tapume, um material de baixo custo e rápida execução, com o intuito de reforçar a segurança de impedir o acesso ao canteiro.

Figura 11 - Isolamento da obra



Conclusão

Ao final da pesquisa os objetivos gerais foram atendidos, uma vez que ao analisar os projetos disponibilizados pode-se fazer uma análise mais global do empreendimento, melhorando a visualização dos riscos através da criação do artefato baseado em uma modelagem e simulação do andamento da obra em BIM, enriquecendo de informações o projeto de bandejas primárias e concebendo um projeto de guarda-corpos que era inexistente.

Quanto aos objetivos secundários os resultados foram satisfatórios, uma vez que ao realizar a análise através da modelagem BIM baseada nos conceitos da NR 18 (BRASIL, 2021) pode-se avaliar as principais incompatibilidades entre um modelo ideal realizado na modelagem e o modelo real encontrado no canteiro. Com o auxílio da modelagem e o confronto dos cenários ideal e real observou-se os principais pontos críticos de risco no canteiro, onde os guarda-corpos não obedeciam às especificações de dimensionamento exigidas na NR 18, além de erros no projeto de bandejas primárias que especificavam em alguns pontos dimensões menores às exigidas na NR 18 (BRASIL, 2021), que apenas foram corrigidas no momento da execução do EPC.

Como produto final da pesquisa geraram-se os seguintes artefatos resultantes da modelagem e simulação da obra que foram realizadas utilizando-se o Building Information Modeling (BIM):

- (a) modelagem do sistema de guarda-corpos; e
- (b) modelagem das bandejas de proteção primária e secundárias.

Ambas as modelagens obtiveram boa aceitação pelos responsáveis técnicos da obra quanto ao seu potencial para melhoria da segurança do trabalho nos serviços realizados em altura.

Assim como na pesquisa de Soemardi e Erwim (2017), conclui-se que o uso do BIM permite que sejam verificadas condições físicas do local que estão ausentes em projetos realizados em 2D, permitindo que elas sejam verificadas com mais qualidade e precisão, o que possibilita maior embasamento para tomada de decisões.

Com relação aos resultados o empreendimento avaliado apresentou negligências com relação aos projetos de segurança do trabalho, o que acarretou riscos aos operários, autuação por parte da empresa fiscalizadora e possivelmente aumento de custos com retrabalhos para correção de serviços executados de forma incorreta, aumento do custo e consequentemente menor produtividade.

Grande parte dos guarda-corpos apresentava danos em suas estruturas e nas redes utilizadas para evitar a queda de objetos entre os vãos, além de adaptações como partes do guarda-corpo executadas com folhas de compensado de madeira, trazendo riscos à segurança, uma vez que não são materiais recomendados pela NR e não são submetidos a testes de carga, como confirmado pela técnica de segurança.

As bandejas de proteção apresentavam problemas de execução, porém em quantidades menores se comparadas aos guarda-corpos. Embora existisse um projeto executivo houve falhas decorrentes do não cumprimento de especificações, como a utilização de perfis com dimensões diferentes das especificadas. Também foram observadas falhas de manutenção que geraram o rompimento dos perfis da estrutura da mão francesa e a existência de algumas das madeiras das bandejas quebradas.

Ao final da pesquisa concluiu-se que a falta de projetos de segurança e cronogramas de manutenção foram fatores primordiais para a baixa eficiência dos EPC. Foi identificado que havia uma baixa comunicação entre os projetistas e a equipe de execução da obra (engenheiro e operários) o que pode ter sido uma variável importante para que ocorressem as falhas executivas.

Por fim, esta pesquisa atingiu seu objetivo ao possibilitar maior sensibilidade dos agentes envolvidos na obra com relação ao BIM, demonstrando que o seu uso pode facilitar o trabalho e melhorar a eficácia dos projetos, permitindo otimizar etapas executivas, trazendo benefícios para o empreendimento. Como forma de contribuição para a sociedade, os dados desta pesquisa foram fornecidos aos responsáveis técnicos da obra, de modo que possam ajudar na melhoria da segurança do ambiente laboral.

Referências

ALADAG, H.; DEMIRDÖGEN, G.; ISIK, Z. Building Information Modeling (BIM) use in Turkish construction industry. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 174–179, 2016.

ALIZADEHSALEHI, S. *et al.* **UAS-BIM based real-time hazard identification and safety monitoring of construction projects use of immersive BIM for design and construction view project VR/AR/MR view project.** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/318707931>. Acesso em: 7 mar. 2019.

BERDEJA, E. P. **Análise de conflitos num projeto de base BIM Engenharia Civil.** Lisboa, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2014.

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**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 79–96, abr./jun. 2015.

BÕES, J. S.; BARROS NETO, J. de P.; LIMA, M. M. X. de. BIM maturity model for higher education institutions. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 131–150, abr./jun. 2021.

BRASIL. **Anuário estatístico de acidentes de trabalho.** 2017. Disponível em: <http://sa.previdencia.gov.br/site/2018/09/AEAT-2017.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de Agosto de 2019, queispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. **Diário Oficial da União**, Brasília, Edição 163, Seção 1, p. 2, ago. 2019. Atos do Poder Executivo.

BRASIL. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **NR 04:** serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho. Brasília, 2016.

BRASIL. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **NR 18:** condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construçãoBrasil. Brasília, 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de Abril de 2020, que estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. **Diário Oficial da União**, Brasília, Edição 65, Seção, 1, p. 5, abr. 2020. Atos do Poder Executivo.

CARTER, G.; SMITH, S. D. Safety hazard identification on construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 132, n. 2, p. 197–205, 2006.

CHAREF, R.; ALAKA, H.; EMMITT, S. Beyond the third dimension of BIM: a systematic review of literature and assessment of professional views. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 242–257, 2018.

CHECCUCCI, É. de S. Teses e dissertações brasileiras sobre BIM: uma análise do período de 2013 a 2018. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019008, 2019.

CHIEN, K.-F.; WU, Z.-H.; HUANG, S.-C. Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study. **Automation in Construction**, v. 45, p. 1–15, 2014.

CLEVENGER, C. *et al.* **Developing a BIM-enabled bilingual safety training module for the construction industry.** Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784413517.183>. Acesso em: 25 fev. 2019.

COLLINS, R. *et al.* Integration of Safety Risk Factors in BIM for Scaffolding Construction. In: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, Reston, 2014. **Proceedings [...]** Reston: American Society of Civil Engineers, 2014.

DRESCH, A. **Design science e design science research como artefatos metodológicos para engenharia de produção.** São Leopoldo, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM handbook:** a guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.

ENSHASSI, A.; AYYASH, A.; CHOUDHRY, R. M. BIM for construction safety improvement in Gaza strip: awareness, applications and barriers. **International Journal of Construction Management**, v. 16, n. 3, p. 249–265, 2016.

ESTRADA, J. **Prevenção de riscos na fase de projeto com base na metodologia BIM.** Aveiro, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2015.

FENG, C. W.; LU, S. W. Using BIM to automate scaffolding planning for risk analysis at construction sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 34., Tainan City, 2017. **Proceedings [...]** Tainan City, 2017.

FUNDACENTRO. **Recomendação técnica de procedimentos 01 (RTP 01)**. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/recomendacao-tecnica-de-procedimento/publicacao/detalhe/2012/9/rtp-01-medidas-de-protecao-contra-quedas-de-altura>. Acesso em: 12 dez. 2021

GANAH, A.; JOHN, G. A. Integrating Building Information Modeling and health and safety for onsite construction. **Safety and Health at Work**, v. 6, p. 39–45, 2015.

GAO, X.; CHEN, Y. Research on BIM technology in construction safety a emergency management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY, 4., Paris, 2016. **Proceedings [...]** Paris: Atlantis Press, 2017.

GETULI, V. *et al.* BIM-based code checking for construction health and safety. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 454–461, 2017.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A. P. Bridging practice and theory: a design science approach. **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

HONGLING, G. *et al.* BIM and Safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 467–472, jun. 2016.

HUSSAIN, R. *et al.* **Safety regulation classification system to support BIM based safety management**. Disponível em: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2017-Paper004.pdf>. 2017. Acesso em: 2 mar. 2019.

KAMARDEEN, I. 8D BIM Modelling tool for accident prevention through design. In: ANNUAL ARCOM CONFERENCE, 26., Sydney, 2018. **Proceedings [...]** Sydney, 2018.

KATER, M.; RUSCHEL, R. C. O potencial da verificação automatizada baseada em regras para as medidas de segurança contra incêndio em BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 423–444, out./dez. 2020.

KEITH POTTS. **Construction cost management**. Disponível em: [http://pcmanagement.es/editorial/Construction Cost Management_ejemplo.pdf](http://pcmanagement.es/editorial/Construction%20Cost%20Management_ejemplo.pdf). Acesso em: 29 abr. 2018.

KIM, H.; AHN, H. Temporary facility planning of a construction project using BIM (Building Information Modeling). In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING IN CIVIL, Fullerton, 2011. **Proceedings [...]** Fullerton, 2011.

KIM, K.; CHO, Y.; ZHANG, S. Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. **Automation in Construction**, v. 70, p. 128–142, 2016.

KIVINIEMI, M. *et al.* **BIM-based safety management and communication for building construction**. 2011. Disponível em: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2597.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2019.

LI, M. *et al.* Methodologies of safety risk control for China’s metro construction based on BIM. **Safety Science**, v. 110, p. 418–426, 2018.

LUKKA, K. The constructive research approach. In: OJALA, L.; HILMOLA, O.-P. (org.). **Case study research in logistics**. Turku: Turku School Of Economics And Business Administration, 2003.

MARQUES, A. C. A. **Planejamento e controle de obra integrado ao BIM, com foco no processo de conhecimento**. Goiânia, 2019. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção e sistemas) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2019.

MARTÍNEZ-AIRES, M. D.; LÓPEZ-ALONSO, M.; MARTÍNEZ-ROJAS, M. Building information modeling and safety management: a systematic review. **Safety Science**, v. 101, p. 11–18, 2018.

MATOS, J. C. G. de. **Implementação do BIM numa grande construtora francesa**. Porto, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, 2014.

MELZNER, J. Acquisition and processing of input data for an object: oriented safety risk simulation in building construction. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, Weimar, 2017. **Proceedings [...]** Weimar, 2017.

- MIGILINSKAS, D. *et al.* The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. **Procedia Engineering**, v. 57, p. 767–774, 2015.
- PITAKE, S. Visualization of construction progress by 4D modeling application. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v. 4, p. 3000–3005, 2013.
- SADEGHI, H. *et al.* Reviewing the usefulness of BIM adoption in improving safety environment of construction projects. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 10, p. 175–186, 2016.
- SHEN, X.; MARKS, E. Near-miss information visualization tool in BIM for construction safety. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 4, p. 04015100, 2016.
- SILVA, P. H. da; CRIPPA, J.; SCHEER, S. Vista do BIM 4D no planejamento de obras: detalhamento, benefícios e dificuldades. **Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. 1–13, 2019.
- SOEMARDI, B. W.; ERWIN, R. G. Using BIM as a tool to teach construction safety. **MATEC Web of Conferences**, v. 138, 2017.
- SWUSTE, P.; FRIJTERS, A.; GULDENMUND, F. Is it possible to influence safety in the building sector?. A literature review extending from 1980 until the present. **Safety Science**, Delft, v. 50, p. 1333–1343, 2012.
- TEO, A. L. E. *et al.* Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. **Construction Economics and Building**, v. 16, n. 4, p. 1–18, 2016.
- VARGAS, F. B. de; BATAGLIN, F. S.; FORMOSO, C. T.. Guidelines to develop a BIM model focused on construction planning and control. In: CONFERÊNCIA ANUAL DO INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 26., Porto Alegre, 2018. **Anais [...]** Porto Alegre, 2018.
- 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**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 129–151, jan./mar. 2020.
- XIONG, N.; TANG, J. Research on construction safety management based on BIM: taking the direction of construction engineering as an example. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT, EDUCATION, INFORMATION AND CONTROL, 7., Paris, 2017. **Proceedings [...]** Paris: Atlantis Press, 2017.
- ZHANG, L. *et al.* Bim-based risk identification system in tunnel construction. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, n. 1392–3730, p. 529–539, 2015a.
- ZHANG, S. *et al.* BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. **Safety Science**, v. 72, p. 31–45, 2015b.
- ZHUANG, R. L. *et al.* Investigating safety passage planning for system shoring supports with BIM. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 33., Hsinchu, 2016. **Proceedings [...]** Hsinchu, 2016.
- ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. **Safety Science**, v. 97, p. 88–98, 2017.

Renato de Melo Seixas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá | Belém - PA - Brasil | CEP 66075-110 | Tel.: (91) 3201-8859 | E-mail: seixasrenato@hotmail.com

Luiz Mauricio Furtado Maués

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | E-mail: maués@ufpa.br

Carolina Caldas Neves Rosa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | E-mail: carolcaldasn30@gmail.com

Fabriccio de Almeida Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal do Pará | E-mail: fabriccioalmeida@hotmail.com

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.