



# VIRTUALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO: APLICAÇÕES NA GESTÃO DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO

**Adriano Macedo Silva**  
adriano.macedo@sesims.com.br  
CIS-SESI/MS

**Carolina Martinez Vendimiati**  
carolinavendimiati@gmail.com  
CIS-SESI/MS

**Ricardo Egídio dos Santos Júnior**  
ricardo.junior@sesims.com.br  
CIS-SESI/MS

**Resumo:** Partindo-se de estudos que demonstram que grande parte dos acidentes de trabalho da Indústria da Construção (IC) poderiam ter sido evitados com a identificação de riscos durante as etapas de concepção de projetos, este artigo abordou como os conceitos de virtualização na construção podem auxiliar na elaboração de planos de gestão de saúde e segurança do trabalho de maneira mais efetiva. Para isso, foram analisados estudos de caso internacionais em que foram aplicados processos de gestão e técnicas de virtualização (como o Virtual Design and Construction, Building Information Modeling, Virtual Reality, Augmented Reality, e outros) na construção, com o objetivo de integrar os atores envolvidos e identificar riscos de saúde e segurança do trabalho ao longo do ciclo de vida de um empreendimento. Um questionário foi aplicado a pessoas diretamente ligadas à IC com o objetivo de levantar informações relacionadas ao conhecimento dos respondentes acerca dos conceitos abordados, sobretudo os relacionados à Building Information Modeling (BIM), e da sua difusão entre segmentos específicos, tais como especialistas em Saúde e Segurança do Trabalho (SST), profissionais gerais da IC e estudantes. Através de uma análise crítica dos dados coletados e dos estudos de casos analisados, foi possível relacionar pontos de contato entre o contexto levantado pelo questionário e a aplicabilidade de soluções para a identificação de riscos e integração dos profissionais de SST nos projetos de construção, reconhecendo ainda oportunidades de desenvolvimento de pesquisas acadêmicas e soluções de mercado para o novo contexto de gerenciamento da IC.

**Palavras Chave: Design for safety - BIM - Construção Civil - Saúde e Segurança - Gestão de projetos**

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção (IC) é responsável, anualmente, por aproximadamente 60 mil acidentes fatais em todo o mundo (ZOU, KIVINIEMI, e JONES, 2017 *apud* ILO, 2005). A grande quantidade de eventos perigosos desperta a necessidade de ações urgentes ligadas à gestão de Saúde e Segurança no Trabalho (SST) que considerem aplicações durante todo o ciclo de vida útil das edificações, desde o momento de concepção projetual, continuando nas etapas de detalhamento de projetos, execução, operação e chegando até mesmo à reforma e/ou demolição de um determinado empreendimento.

A IC tem experimentado nos últimos anos uma verdadeira revolução tecnológica por meio da virtualização (digitalização) e automação de seus processos, o que tem incorrido em melhorias constantes da sua eficiência e produtividade, sobretudo por conta do uso de conceitos como o *Virtual Design and Construction* (VDC), *Building Information Modeling* (BIM), uso de realidade virtual e aumentada (VR/AR), impressão 3D, entre outras evoluções que são destacadas na revisão feita por Oesterreich e Teuteberg (2016) como adventos da indústria 4.0 e que pautam a agenda de inovações do setor.

Essas inovações podem ser utilizadas para a prevenção de acidentes, sendo a fase de concepção de projetos momento extremamente importante para que sejam tratados os requisitos de SST, sendo este conceito conhecido como *Design for Safety* (DfS). Para a aplicação e difusão deste conceito, se faz necessário estudar os aspectos envolvidos com relação aos processos de trabalho, maturidade dos profissionais, tecnologias aplicadas e também o cenário em que estão inseridos todos esses atores.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Em 2017 foram divulgados os últimos dados quantitativos oficiais de acidentes no trabalho no Brasil pela Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência (DATAPREV) no Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (MF, 2017). Ao realizar uma análise dos dados utilizando-se como parâmetro a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), é possível segmentar os eventos associados à IC. Considerando-se as atividades de construção, classificadas na seção F e divisões 41, 42, 43 do CNAE, foram registrados, somente no ano de 2017, mais de 30.025 acidentes (excluídos os acidentes de trajeto). Quando consideramos as atividades indiretamente relacionadas como a fabricação de estruturas pré-fabricadas de madeira, concreto, estruturas metálicas (CNAE 16.22-6, 23.30-3, 25.11-0) e serviços especializados de arquitetura e engenharia (CNAE 71.11-1, 71.12-0) o total alcança 35.943 eventos. Ao analisar o índice de mortalidade relacionado às atividades econômicas da seção F (aquela que corresponde à IC), constata-se um valor de 10,81 acidentes fatais por cada 100 mil vínculos empregatícios, sendo este valor mais do que o dobro do índice nacional, estabelecido em 5,24 óbitos a cada 100 mil vínculos.

A gestão de saúde e segurança no trabalho gira em torno do conceito fundamental de risco. Para as organizações, este conceito é bastante amplo, sendo entendido como qualquer “efeito geral da incerteza nos objetivos” (ABNT, 2009) e cujo gerenciamento consiste no conjunto de atividades de “planejamento, identificação, análise, plano de ações, monitoramento e controle em um determinado projeto” (PMI, 2008). Já no âmbito ocupacional, pode-se definir risco como sendo “a probabilidade ou chance de lesão ou morte” (SANDERS e McCORMICK, 1993). A partir dos conceitos estabelecidos, pode-se então estudar a respeito dos riscos especificamente associados à IC, intrínsecos à atividade produtiva do setor.

No Brasil, o gerenciamento de riscos de SST relacionados às diversas atividades produtivas do país é amparado por Normas Regulamentadoras (NR's) editadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), que consistem em disposições complementares à Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e que apresentam os direitos e deveres que devem ser cumpridos tanto por empregadores quanto trabalhadores de forma a garantir ambientes de trabalho mais seguros, onde sejam minimizados os riscos relacionados à doenças e acidentes de trabalho (ENIT, 2019). Devido ao destaque da IC, algumas NR's se aplicam especificamente às atividades do setor, estabelecendo requisitos mínimos de desempenho e segurança, medidas de proteção, limites de exposição e tolerância e outras exigências relacionadas à gestão de SST nos ambientes da construção.

Embora existam as NR's, os números de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais da IC permanecem elevados, sobretudo por conta de os trabalhadores do setor estarem mais vulneráveis à negligência quanto ao cumprimento das normas, principalmente pela comum situação de informalidade no setor. A ausência de vínculo formal entre os trabalhadores e construtoras, incorporadoras ou construtores independentes é motivada pela subcontratação, terceirização, alta rotatividade, qualificação não padronizada e mal planejamento de obras (CBIC, 2019, p. 83). Além disso, as próprias características específicas da IC (atividade comum em trabalho em altura, esforço físico excessivo, ambientes com ascensão de material particulado, exposição a vibrações, entre outros) acabam por causar e/ou agravar as doenças ocupacionais que, muitas vezes, por conta da informalidade no setor, prejudicam a sua precisa identificação e registro dada a ausência de exames admissionais, demissionais e correta comunicação de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais.

No cenário descrito, observa-se ainda que não há grande esforço por parte dos financiadores da IC em alterar o cenário, se considerarmos que a indústria continua como uma das mais perigosas. Acidentes de trabalho causam não somente inconvenientes como a interrupção das atividades produtivas, gastos com despesas médicas do acidentado e multas contratuais: os trabalhadores sofrem com a instabilidade emocional após o evento, reduzindo a qualidade de vida e produtividades dos colaboradores (SESI, 2015). A Organização Internacional do Trabalho prevê que 4% do Produto Interno Bruto de países industrializados é desperdiçado com custos mitigadores e doenças ocupacionais (CBIC, 2019).

## 2.2. VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION NA IC

O conceito de *Virtual Design and Construction* (VDC) foi desenvolvido pela Universidade de Stanford sob a ótica conceitual do uso de ferramentas multidisciplinares de projeto e construção para a integração entre os diversos atores envolvidos nesse processo, com o objetivo de utilizar modelos virtuais em que seja possível simular os complexos processos de construção, analisando, entendendo e identificando todas as situações envolvidas em um ambiente virtual antes de um projeto tomar forma no mundo real (KHANZODE *et al*, 2006).

Na IC, a área de gestão de riscos orientada pelo conceito de VDC está em expansão, associado aos demais conceitos relacionados com a virtualização de informações sobre as edificações tais como a modelagem tridimensional, o uso de realidade virtual (VR) e aumentada (AR), gamificação, impressão 3d, *Clash Checking*, *Code checking*, verificação de interferências e conflitos com normas, entre outras aplicações que se relacionam com etapas de projeto, métodos de ensino, capacitação e conscientização dos riscos (ZOU *at al*, 2017).

Os estudos sobre VDC apontam que os métodos tradicionais de projetos são extremamente fragmentados e que processos importantes como a verificação de interferências, revisão e correção de projetos e documentações realizadas em 2D acabam por gerar altos custos financeiros pelo tempo desperdiçado, mão de obra envolvida e problemas de

interoperabilidade. Por meio da aplicação dos conceitos de VDC, sobretudo o de utilização de modelagem computacional tridimensional, os conteúdos gerados se tornam muito mais acessíveis e compreensíveis, criando maior integração entre os membros de equipes multidisciplinares e possibilitando a visualização de problemas antecipadamente, diminuindo assim o tempo latente de tomada de decisões (KUNZ e FISCHER, 2012).

A eficiência do uso do VDC pautado na utilização de modelos tridimensionais paramétricos não somente traz ganhos de tempo, mas também de gestão ao processo. Ao se adicionarem parâmetros de informações nos modelos de construção, cria-se a necessidade de que todas as informações sejam imputadas nas ferramentas de modelagem utilizadas, resultando em ações programadas, padronizações e revisões constantes. Dessa forma, a Modelagem de Informações da Construção confere mais dimensões de atuação e controle dos gerenciadores, criando mecanismos de atuação mais efetivos nos projetos de construção, organização dos processos construtivos e até mesmo gestão da operação das edificações, onde são integradas diversas documentações técnicas desejáveis ao longo da condução do processo.

Embora o conceito de VDC traga inúmeros ganhos reconhecidos ao processo de gestão e coordenação dos projetos de construção, destaca-se que a sua adoção passa por diferentes níveis de maturidade que demandam uma série de reflexões internas sobre a sua proposta de valor em cada organização. Esse processo normalmente é desdobrado de maneira incremental passando por etapas que demandam um grande engajamento corporativo para que os objetivos de implementação sejam alcançados (KUNZ e FISCHER, 2012).

### 2.3. BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

O *Building Information Modeling* (BIM) é um conceito de desenvolvimento de projetos com modelos virtuais e paramétricos que retêm tanto informações geométricas como também características próprias dos elementos tais como sua composição, suas propriedades, sua aparência, entre outras informações que possibilitam a realização de operações de visualização, análise, simulação e quantificação dos elementos envolvidos na construção (EASTMAN, 2014). Essencialmente, todas essas características da modelagem transformam os projetos de construção em bancos de dados digitais estruturados e integrados à construção (KENSEK, 2018). As informações contidas nos modelos BIM podem ter diversas aplicações, sejam geométricas, como por exemplo a identificação de interferências entre projetos com auxílio de softwares especializados (*clash checking*) ou de caráter mais geral como o planejamento e identificação de processos construtivos e a identificação de seus riscos, sejam econômicos ou sociais.

Para a elaboração de modelos paramétricos o mercado oferece diversas soluções e ferramentas que trabalham com os conceitos BIM, criando a necessidade de que se tenha formas de se relacionar as informações ao longo do ciclo de vida da edificação de maneira interoperável. Esta interoperabilidade pode ser definida como “a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos especialistas e aplicações contribuam para o trabalho em questão” (EASTMAN, 2014, p. 65). O formato de intercâmbio mais utilizado e mais intercambiável entre os diversos softwares existentes é o *Industry Foundation Classes* (IFC), um formato aberto e neutro que permite que a informação seja traduzida nas diversas aplicações existentes e possa transitar durante o ciclo de vida de um projeto entre os diversos atores envolvidos no processo, independente da organização que se situem ou das ferramentas que se utilizam.

Ambos os autores Eastman (2014) e Kensek (2018) demonstram em seus trabalhos as potencialidades do conceito e a sua forma flexível de intercambiar informações, o BIM transformou a maneira como os requisitos básicos de um projeto são tratados, sendo elencados os seguintes resultados positivos: estudos de viabilidade mais precisos, o aumento no rigor da

verificação de interferências, integração entre os projetos arquitetônico e complementares, a compreensão potencializada do modelo virtual pelos clientes devido a utilização de ferramentas como a realidade virtual e aumentada, entre outros.

Importante ressaltar as diferenças conceituais entre BIM e VDC, uma vez que a modelagem de informações representa apenas uma pequena porção de toda a perspectiva acerca de um projeto e das informações nele envolvidas, sendo o VDC todo o conjunto de métodos e práticas integradas que amparam todo o processo de gerenciamento de um projeto (KUNZ e FISCHER, 2012).

Apesar das diferenças, assim como no conceito de VDC, para o BIM também são elencados níveis de maturidade para sua adoção. Succar (2009) determinou quatro etapas de maturidade para adoção do BIM. Partindo-se do estágio denominado “pré-BIM”, em que as equipes se utilizam precipuamente de documentações 2D para descrever os processos de construção, o autor indica como se dá o processo de evolução dos fluxos de modelagem, colaboração, integração e interoperabilidade, até atingirem o estágio onde há a maximização do valor gerado em um processo capaz de integrar pessoas, tecnologias, processos e práticas entre as organizações envolvidas.

#### 2.4. DESIGN FOR SAFETY (DFS)

O conceito de *Design for Safety* (DfS) é pautado na ideia de se realizar a prevenção de riscos ainda na fase de projeto por meio da participação ativa de Arquitetos e Engenheiros, propondo soluções integradas à gestão de segurança ainda nas fases conceituais e de desenvolvimento das soluções (TOOLE e GAMBATESE, 2008).

Muitos são os estudos desenvolvidos no sentido de se propor indicadores (SADEGHI *et al*, 2015), metodologias de avaliação (GANGOLELLS *et al*, 2010) e estudos experimentais de viabilidade e eficiência (GAMBATESE *et al*, 2005) da aplicação do DfS. Em uma amostra de 224 investigações de acidentes fatais, Behm (2005) constatou que cerca de 42% deles poderiam ter sido evitados com a utilização do conceito de DfS.

A Fundação Europeia para a Melhoria das Condições de Vida e Trabalho concluiu que aproximadamente 60% dos incidentes fatais na IC resultam de decisões de operação e projeto equivocadas, ambas anteriores à execução (EUROPEAN FOUNDATION FOR THE IMPROVEMENT OF LIVING AND WORKING CONDITIONS, 1991, p. 29). A utilização do conceito de DfS e a participação ativa dos profissionais da área de SST junto às equipes de projetistas, detectando e prevenindo riscos nas etapas iniciais de concepção construtiva pode ser empregada para melhoria desse cenário.

Por se mostrar tão importante, o conceito de DfS foi incorporado às legislações locais de países como o Reino Unido em que se configura como responsabilidade dos projetistas envolvidos eliminar (ou mitigar quando da sua impossibilidade) os riscos de saúde e segurança nas fases de projeto (HSE, 2015, p. 7). Em Singapura também se estabeleceu como responsabilidade dos envolvidos na concepção projetual identificar e comunicar os riscos envolvidos durante a vida útil de um projeto, havendo ainda a necessidade de se ter um “*DfS professional*” responsável por acompanhar todo o plano de gestão e acompanhamento dos riscos comunicados ao longo do processo (WSHC, 2016, p. 13). Anteriormente a este período, verificou-se também em Singapura que 51,81% dos profissionais de SST raramente eram procurados para implementar medidas de segurança nos estágios iniciais de desenvolvimento projetual e 63% consideram que os clientes evitam a inserção de DfS no projeto por questões de custo (Goh e Chua, 2016).

Um claro exemplo da falta de aplicação do conceito de DfS no Brasil pode ser ilustrado por meio das questões relacionadas ao trabalho em altura, que representa parcela

significativa nas taxas de acidentes na IC. A regulamentação do trabalho em altura no Brasil está especificada na NR 35 que indica os requisitos mínimos e as medidas de proteção que almejam a segurança dos trabalhadores, entre eles o treinamento de capacitação dos funcionários, ações que diminuem o risco de queda e os danos potenciais. Considerando que o trabalho em altura é realizado em diversas fases do ciclo de vida de uma edificação (e ainda periodicamente durante a operação), devem ser previstos elementos de ancoragem para engate do equipamento de proteção individual (cinto trava quedas) durante a execução das atividades.

Embora existe essa necessidade, a análise dos projetos existentes revela a ausência de soluções que considerem tais sistemas nas fases de concepção, gerando riscos e potenciais acidentes. A ausência de pontos de ancoragem suficientes na cobertura das edificações mais antigas e em edificações novas de menor porte aumentam o risco de acidentes durante a manutenção de fachadas e coberturas (MELO FILHO, 2012). Em algumas situações, detalhes arquitetônicos dificultam o acesso aos sistemas de ancoragem. Dessa forma, o exemplo da precariedade do trabalho em altura na IC demonstra a fragilidade da implantação de medidas obrigatórias de segurança em obras. Logo, é necessária a introdução de instrumentos de checagem de requisitos mínimos de proteção em todo o ciclo de vida da edificação para evitar erros de concepção que, posteriormente, possam colocar em risco a integridade física dos trabalhadores, tendo como objetivo um programa já orientado para a proteção de todos os usuários.

## 2.5 RELAÇÃO ENTRE DFS E VDC

Uma vez que o conceito de DfS é baseado em análises realizadas desde as fases preliminares de concepção de projetos, é possível visualizar uma profunda relação com VDC. Os métodos, formas de gerenciamento e uso de ferramentas de digitalização presentes no VDC podem amparar processos de trabalho na identificação de riscos de maneira preliminar nos projetos de edificações.

Baseando-se nesses princípios, muitos são os estudos referentes à utilização de técnicas de virtualização e tecnologias relacionadas para a concepção de projetos e gestão de edificações mais seguras, destacando a revisão sistemática promovida por Zhou (2012) em que são elencadas e conceituadas as principais ferramentas e tecnologias utilizadas, tais como a modelagem de informações da construção (BIM), uso de realidade virtual e aumentada, rastreamento de objetos, *laser scanning*, entre outras. Destaca-se ainda o trabalho promovido por Guo *et al* (2017), que realiza ampla análise de mais de 78 artigos relevantes publicados entre 2000 e 2015 com aplicações práticas da utilização de tecnologias de visualização para a gestão de saúde e segurança do trabalho.

Em um experimento realizado pelo Instituto de Tecnologia de Israel foram reunidos 61 profissionais da área da construção civil, estudantes de engenharia, supervisores de construções e diretores de companhias de SST. Os 61 participantes foram divididos em dois grupos de 28 e 33 para analisar situações perigosas por ferramentas de simulação em 3D e por métodos tradicionais (documentação e fotografias) respectivamente. A pesquisa averiguou que o número de eventos perigosos em canteiros identificados corretamente foi maior no grupo que utilizou ferramentas de visualização em 3D do que o grupo que utilizou ferramentas tradicionais (BARAK *et al*, 2014).

No Brasil, a difusão das alternativas de concepção em VDC ainda é limitada, observando-se apenas o uso e difusão dos conceitos BIM ainda em baixo de maturidade, com maior enfoque nas etapas de documentação e não no potencial completo que o conceito oferece. O mercado da IC brasileira, desde os anos 2000, intensificou a exigência por especialistas habilitados no desenvolvimento e gerenciamento de projetos otimizados pela

utilização de métodos VDC. Consequentemente, a inserção de disciplinas direcionadas para o aprendizado dos instrumentos de modelagem 3D e BIM no ensino superior cresce gradativamente. A tendência da abordagem do ensino no contexto internacional ocorre desde 2003, envolvendo a mudança de paradigma para uma transformação de perspectiva dos processos de concepção e gestão de projetos. A implantação do BIM em universidades brasileiras está em ritmo gradual e pouco efetivo devido as dificuldades de compreensão da academia da estrutura mais horizontalizada de idealização da edificação e de seus projetos, dificultando as revisões curriculares necessárias para a capacitação de profissionais introduzidos no mercado nacional e internacional (RUSCHEL *et al*, 2013).

Embora a demanda por profissionais e capacitação seja ainda incipiente, a tendência é de crescimento nos ambientes acadêmicos e profissionais, sobretudo por conta da oficialização do Decreto nº 9,377 que instituiu em 17 de maio de 2018 a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no país, que estabelece marcos temporais para a completa adoção do BIM enquanto política de Estado.

### **3. METODOLOGIA**

O artigo consiste em uma pesquisa exploratória de natureza aplicada que busca tornar o problema mais explícito, descrevendo as características de uma determinada população ou fenômeno (GIL, 2017, pp 42) e cujo objetivo principal foi a verificação de aplicabilidade dos conceitos estudados por meio da análise de situações reais já idealizadas (estudos de caso). O processo de pesquisa foi segmentado em três etapas, sendo a primeira delas o levantamento bibliográfico para embasamento teórico e conceituação do tema, tendo como base os materiais mais relevantes sobre os assuntos pesquisados, consultando-se em particular periódicos internacionais, eventos científicos, livros e manuais técnicos.

Após a delimitação do tema, para a melhor compreensão do cenário nacional atual de disseminação e uso dos conceitos estudados, foi elaborado um questionário, aplicado *on-line*, em que se levantaram informações a respeito da familiaridade com os conceitos, a aplicação deles na atividade profissional, ferramentas mais utilizadas, maturidade dos processos e a consideração sobre a relevância do papel de profissionais de SST nos processos de planejamento e concepção de projetos.

A partir desses dados primários levantados, foi realizada a terceira etapa da pesquisa, que consistiu na investigação de estudos de caso publicados em periódicos internacionais, dissertações de mestrado e outros disponíveis na comunidade acadêmica para analisar a viabilidade de aplicação no nosso panorama nacional.

Como resultado, foi realizada uma análise crítica entre os resultados do questionário aplicado e dos estudos de caso levantados para identificar a viabilidade de adaptação dos modelos propostos para o contexto brasileiro atual, motivando a realização de novas pesquisas para o estudo de aplicações dos conceitos de convergência de SST, VDC e DfS.

### **4. LEVANTAMENTO DE DADOS – QUESTIONÁRIO APLICADO**

Para melhor entender o cenário atual de difusão de conceitos relacionados ao uso de ferramentas de visualização/digitalização na construção (sobretudo o uso de BIM), bem como a sua aplicação para identificação de riscos de SST (conceito de DfS), foi elaborado um questionário *web* divulgado em canais diversos de comunicação para captação de dados relacionados ao mercado nacional. Os resultados aqui apresentados consideraram as respostas coletadas no período de 04/10/2018 a 29/05/2019 e que contou com a colaboração de um total de 115 respondentes. Os dados obtidos foram consolidados através da utilização da

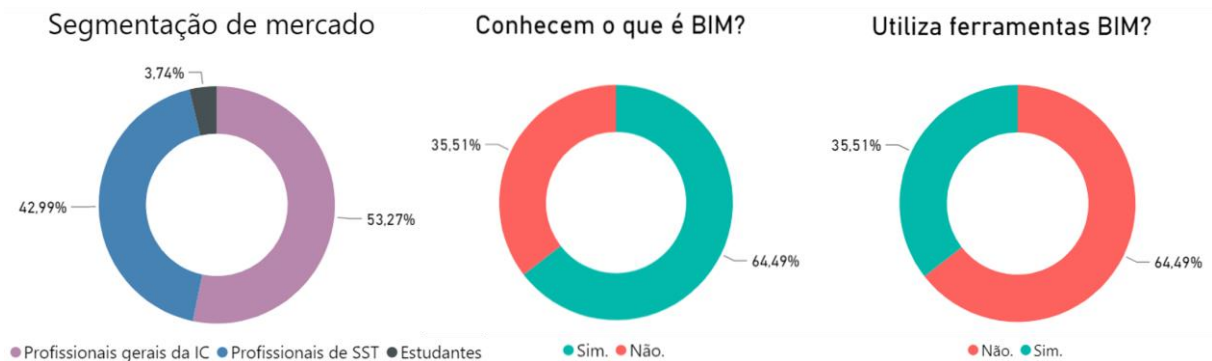


ferramenta *Microsoft Power BI*, sintetizando informações em gráficos e elementos de fácil compreensão em que se torna possível realizar análises e interações diversas.

O questionário elaborado foi direcionado ao público geral da IC, que foi segmentado em três categorias fundamentais: profissionais gerais da IC, profissionais de SST e estudantes. Para os participantes foi questionado ainda se já atuavam profissionalmente, não tendo sido consideradas para fins de análise os dados dos respondentes que declararam não exercer atividades profissionais, resultando em um total de 107 dados aproveitados.

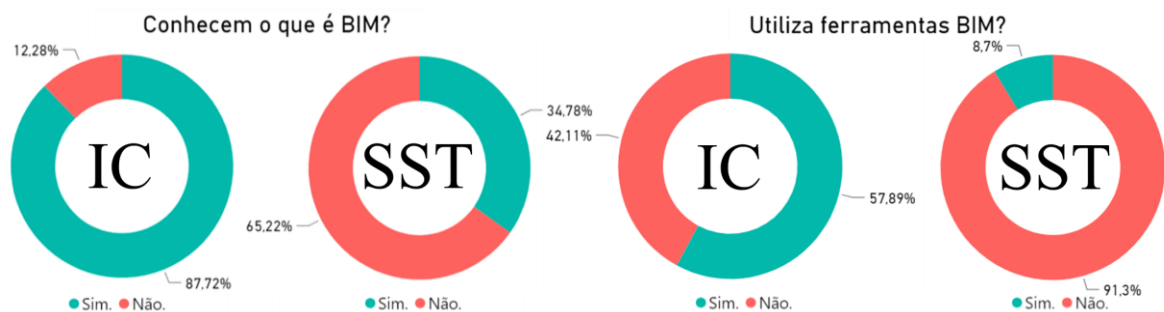
Importante ressaltar que o questionário formulado partiu do princípio de autodeclaração das informações, não havendo recursos suficientes para a validação das respostas. Entre os dados recolhidos no período, 53,27% declararam ser profissionais gerais da IC, 42,99% profissionais de SST e 3,74% estudantes. Deste total, 64,49% afirmaram conhecer ou estarem habituados com o conceito do que é BIM e de suas potenciais aplicações e, dentre estes, 35,51% declararam utilizar ferramentas de trabalho BIM (Figura 1), sendo o software Autodesk Revit o mais citado entre as respostas.

A partir da segmentação dos dados por meio de filtros específicos, foi possível realizar análises mais elaboradas como, por exemplo, a comparação de resultados entre o público de profissionais gerais da IC e dos profissionais de SST.



**Figura 1:** Características gerais dos dados referentes à segmento de atuação e conhecimento em BIM  
**Fonte:** Autores (2019)

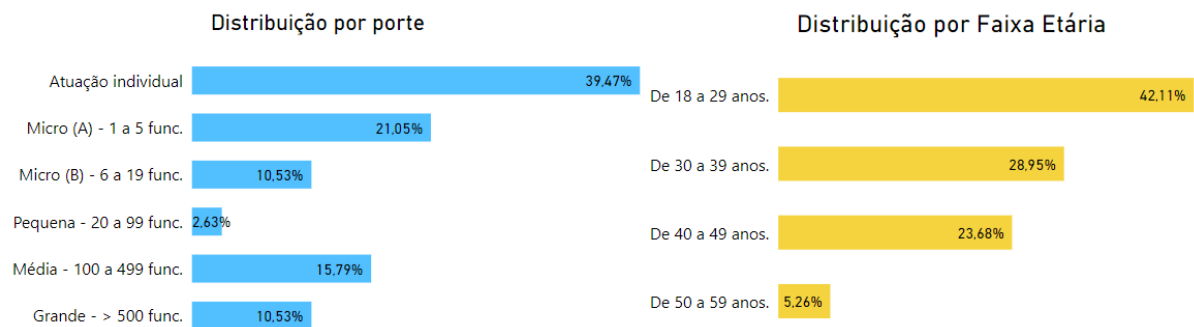
Ao se avaliar as respostas à pergunta “*Você conhece e/ou está habituado com o conceito do que é Building Information Modeling (BIM) e de quais as suas potenciais aplicações?*” observou-se que 87,72% dos profissionais gerais da IC declararam conhecer ou estar habituados com o conceito BIM, enquanto este valor é de apenas 34,78% quando analisado o público de profissionais de SST. Ao se analisar as respostas relacionadas à utilização de ferramentas BIM por estes segmentos de respondentes, enquanto 57,89% dos profissionais da IC declararam utilizar algum tipo de ferramenta, este valor é de apenas 8,7% para os profissionais de SST (Figura 2).



**Figura 2:** Conhecimento e utilização do BIM por segmento de atuação  
**Fonte:** Autores (2019)

A grande discrepância nos resultados entre os segmentos de público analisados permite inferir que o conceito BIM ainda é pouco difundido entre os profissionais de SST, o que traduz um ponto de atenção, uma vez que estes profissionais possuem papel de destaque e liderança quando se almeja a aplicação do conceito de DfS.

Uma segunda análise foi conduzida a fim de se aprofundar acerca dos dados referentes aos participantes que declararam utilizar algum tipo de ferramenta BIM. Analisando este segmento de respondentes, composta por 38 participantes, foi averiguado que 42,11% possuem menos de 30 anos e que 39,47% atuam individualmente (Figura 3). Estes dados reforçam pesquisas relacionadas à introdução de práticas em BIM nas universidades nacionais a partir de 2009 (RUSCHEL *et al*, 2013), indicando que os profissionais egressos das universidades nos últimos 10 anos possuem maior intimidade com o conceito e o uso de ferramentas.



**Figura 3:** Características dos respondentes que declararam utilizar ferramentas BIM  
**Fonte:** Autores (2019)

Por fim, para todos os grupos de respondentes foram realizadas perguntas com o objetivo de se realizar uma análise de sensibilidade quanto à importância do envolvimento de profissionais de SST nos processos de planejamento de projetos, bem como sobre a relevância da identificação de fatores de riscos e previsão de investimentos relacionados à SST.

Utilizando-se uma escala de 0 (sem relevância) a 5 (extrema relevância), foi constatado um valor médio de 4,4 sobre a importância do envolvimento de profissionais de SST durante o planejamento de projetos. Com relação à relevância acerca da identificação de riscos e investimentos relacionados à SST ainda nas fases de projeto, a média das respostas produziu um índice de 4,7. Esta análise suscita o conhecido fato de que a IC ainda pauta o interesse de suas ações, sobretudo, em aspectos relacionados essencialmente a custos e investimentos.

## 5. LEVANTAMENTO DE DADOS – ESTUDOS DE CASO

### 5.1 ESTUDO DE CASO 1: BIBLIOTECA DE CONHECIMENTO DFS

O primeiro estudo de caso analisado (HOSSAIN *et al*, 2018) foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental associado ao Departamento de Construção da Faculdade de Design e Meio Ambiente, ambos da Universidade Nacional de Singapura, local onde há registros de várias publicações de pesquisas relacionando o uso de modelagem de informações da construção e DfS desde 2011.

A pesquisa, nomeada “*Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews*”, descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento de um sistema que consiste em uma biblioteca de conhecimentos DfS que reforça a participação de projetistas como protagonistas na contribuição para a redução de riscos envolvidos na fase de construção, utilizando modelos BIM como fonte de informações para análises de riscos.

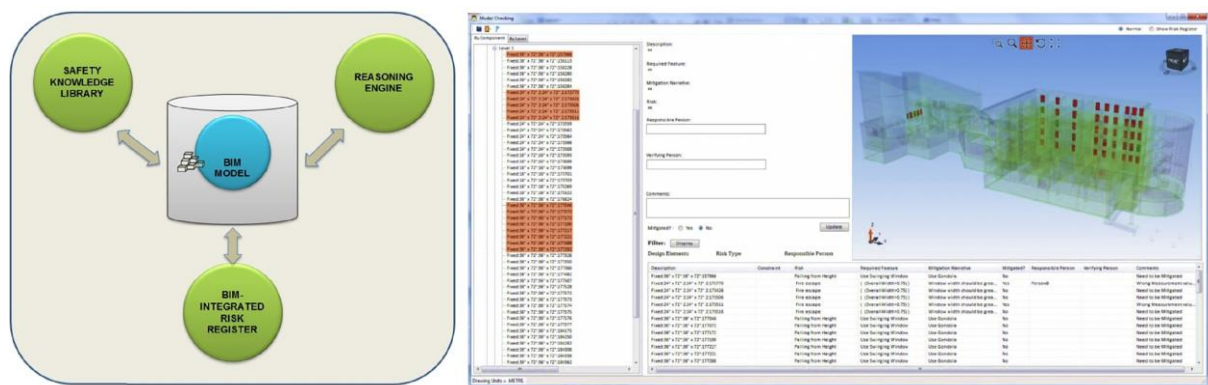
Para a construção da biblioteca, os autores utilizaram uma sistemática de categorização (taxonomia) em 6 níveis idealizado para a estruturação das regras de segurança, partindo-se do nível 1, mais abrangente e referente ao tipo de disciplina de projeto (Arquitetura, Estrutura, Instalações, etc.), passando por níveis relacionados aos elementos, às fases de aplicação dos serviços (construção, operação ou manutenção), restrições de parâmetros dos elementos (físicos, materiais, propriedades, etc.), riscos associado à condição de restrição e, finalmente, as ações necessárias para mitigar os riscos (nível 6).

Para a estruturação do conhecimento dessa biblioteca, os autores realizaram grupos focais de discussão junto à especialistas das áreas de Arquitetura, Engenharia, Construção e Segurança do Trabalho em que os participantes foram suscitados a discutirem e identificarem os principais riscos de segurança associados a projetos de construção (baseando-se na classificação taxonômica criada) e como tratar tais riscos ainda durante a fase de concepção.

A partir dessa intensa coleta de informações junto aos especialistas, os autores puderam organizar e gerenciar as regras DfS levantadas, estruturando-as em formato de dados agrupados e divididos em três categorias específicas e baseadas na sua forma de estruturação (características dos riscos, restrições dos elementos, entre outros). Após isso, foi construído um sistema para imputar os dados das regras DfS levantadas, criando um banco de dados estruturado para criação de seis bibliotecas de conhecimento.

Após a estruturação e desenvolvimento do sistema, a sua aplicabilidade foi testada em um projeto piloto em que foi utilizado o conceito BIM, tornando possível a utilização da biblioteca de conhecimento para a identificação de riscos de maneira otimizada. Uma vez identificados os riscos, o sistema permite a criação de registros, proposição de ações mitigadoras e estruturação de ações de gestão de SST para a fase de execução. A Figura 4 ilustra os componentes chave de funcionamento do sistema e um exemplo de aplicação.

O sistema desenvolvido e a biblioteca de conhecimento geradas foram apresentados aos participantes dos grupos focais e também especialistas da IC, revelando grande interesse dos profissionais na utilização da ferramenta, comprovando a sua viabilidade como instrumento de potencialização de uso do conceito de DfS.



**Figura 4:** Registro de riscos para o exemplo de caso.

**Fonte:** GOH *et al* (2018)

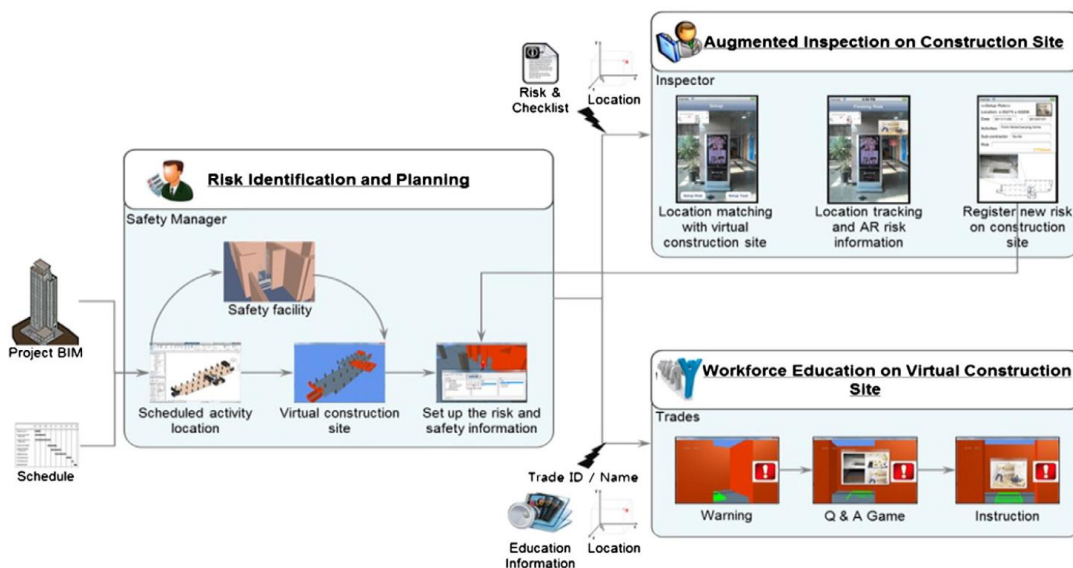
## 5.2 ESTUDO DE CASO 2: VISUALIZAÇÃO, CAPACITAÇÃO E INSPEÇÃO DE RISCOS

O Sistema de gestão de segurança e visualização (SMVS) foi desenvolvido na Faculdade de Arquitetura e Ciências da Edificação da Universidade Chung-Ang, em Seul, Coreia do Sul. O artigo “*A framework for construction safety management and visualization system*” (PARK e KIM, 2013) estuda a integração de técnicas de virtualização como o BIM, realidade aumentada (AR), realidade virtual (RV) e tecnologias de jogos digitais para a análise e identificação de riscos de SST.

Foi desenvolvido um protótipo a ser aplicado em três fases típicas do processo de gestão de segurança identificadas pelos autores: Módulo de Planejamento (*Planning module*), Módulo Educacional (*Education module*) e Módulo de Inspeção (*Inspection module*). Os três módulos desenvolvidos foram então integrados por meio de uma plataforma de visualização (*Visualization engine*) composta de submódulos com finalidades específicas, tais como suporte à utilização de modelos BIM (*graphic library*), sistemas de localização e posicionamento (*location tracking system* e *location database*), identificação de usuários (*user identification* e *user database*) e o sistema de visualização (*visualization engine browser*). Todos os módulos considerados se conectam ao sistema de visualização por meio de comunicação *wireless* e internet local.

De maneira sintetizada, no módulo de planejamento, partindo-se de documentações técnicas como cronogramas e modelos BIM os agentes responsáveis pela gestão de SST do projeto realizam a identificação de riscos, criando os *inputs* que fomentaram as ações dos módulos subsequentes. No módulo educacional, a partir dos riscos identificados, são elaborados jogos de perguntas e respostas (*question and answer game – QAG*) em que os trabalhadores são submetidos virtualmente (RV) a situações para analisar o seu comportamento e cognição frente aos riscos, criando uma experiência prévia às atividades de execução, em que as atividades de circulação e localização do trabalhador no modelo gráfico são rastreadas e armazenadas para criar históricos sobre as interações a que foi submetido. Por fim, no módulo de inspeção é possível que, já *in loco* e durante as atividades de execução, os inspetores de segurança possam checar condições em campo, interagindo com o modelo virtual por meio de realidade aumentada (AR) e dispositivos móveis, em que, utilizando informações de rastreamento, são atualizadas informações no modelo para utilização nos módulos de educação e inspeção, retroalimentando o processo e criando os registros de informação necessários.

O protótipo do SMVS foi testado em uma situação real em que já havia sido relatada uma ocorrência de acidente de trabalho relacionada a quedas e na qual os gestores de SST buscavam uma nova abordagem tecnológica para gestão dos riscos. Após o teste, os autores coletaram a opinião dos usuários que concordaram que a ferramenta desenvolvida é aplicável durante a fase de execução e que pode efetivamente auxiliar nos processos de identificação, comunicação e gestão de riscos de SST em um projeto. A Figura 5 ilustra de maneira geral e sintética o framework de aplicação e estruturação do projeto.



**Figura 5:** Fluxo de informações para estruturação do sistema desenvolvido.

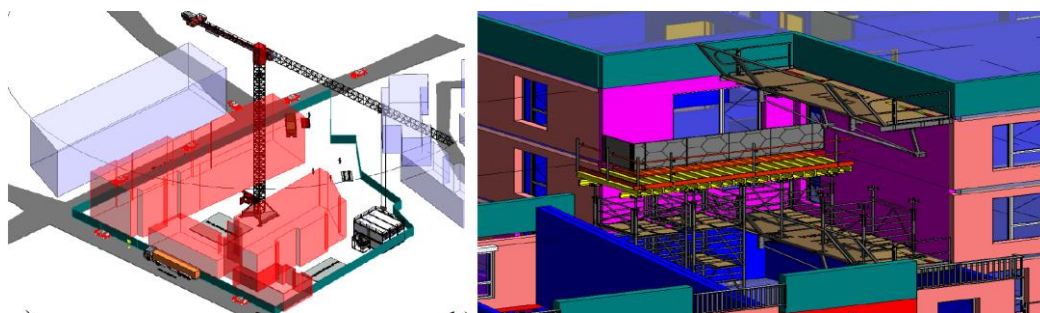
Fonte: PARK *et al* (2013)

### 5.3 ESTUDO DE CASO 3: MODELAGEM COMPUTACIONAL PARA GESTÃO DE SST

O caso de implementação do BIM na construtora Bouygues HAS (MATOS, 2014) foi apresentado como uma dissertação de mestrado em que há interessantes contribuições acerca da utilização da modelagem para a gestão de SST. A empresa em questão possui várias filiais, sendo uma delas a Bouygues Bâtiment IdF Habitat Social, que atua em obras de edifícios de natureza pública. Nesta filial coexistem diversos setores responsáveis por atividades técnicas específicas e que colaboram entre si ao longo de um projeto. Em 2011, uma parceria estratégica foi firmada entre a construtora e a empresa Autodesk para a implantação de BIM em seus serviços, com o intuito de trazer ganhos referentes à completa transformação dos processos projetuais e de trabalho colaborativo entre os atores envolvidos.

Entre as diversas ações e estratégias de implantação da Bouygues HAS para o uso do BIM, destaca-se a criação de uma sistematização de padronização das formas de projeto (*template*) e um conjunto de bibliotecas de elementos (famílias) nativos do software Autodesk Revit. Estes elementos foram desenvolvidos para atender às especificidades dos projetos da empresa, destacando-se os elementos modelados para atender às demandas dos planos de execução de obras e elaboração das plantas de segurança, que envolvem questões gerais relacionadas à logística de obra (acessos de pessoas e equipamentos, carga e descarga, montagens e desmontagens, implantação das guias, áreas de vivência entre outras).

O trabalho discutido analisou um estudo de caso de implantação do processo de modelagem em um edifício no município de Fleury Mérogis, sul de Paris, com cinco pavimentos e um 6º piso para garagem, sendo este o primeiro projeto da construtora em que foram utilizados tais processos de trabalho. Após a realização do estudo foi constatado que a implantação do BIM trouxe não apenas bons resultados relacionados à qualidade da execução de suas obras, mas também uma nova forma de se trabalhar e conceber edifícios. O uso do Autodesk Revit nesse projeto se mostrou uma ferramenta muito útil na facilitação da comunicação e interpretação dos processos construtivos, sobretudo, das questões de SST, sendo possível produzir modelos de proteções coletivas padronizadas e utilizadas rotineiramente pela empresa, estudar o posicionamento de guias e demais informações de relevância e impacto quando da execução da obra, tal como ilustrado na Figura 6.



**Figura 6:** Modelagem dos equipamentos e instalações de canteiro relacionados à SST

**Fonte:** MATTOS (2014)

## 6. DISCUSSÕES

Os estudos de casos, embora possuam abordagens e utilização de ferramentas e tecnologias distintas, giram em torno do conceito de DfS com o objetivo de se realizar a identificação e análise de riscos nas fases de concepção. Nos três casos analisados, pode-se encontrar conceitos diretamente relacionados a VDC em que houve a utilização de tecnologias e ferramentas específicas em diferentes graus de implementação e onde foi possível demonstrar que as técnicas de visualização auxiliaram os membros a visualizar e identificar os riscos mais facilmente.

No primeiro caso analisado, relacionado à criação da biblioteca de conteúdo para auxiliar na identificação de riscos na fase de projeto, é possível constatar que as técnicas de virtualização contribuíram de maneira expressiva com os resultados, embora para isso tenha sido necessária a realização de uma prévia estruturação dos dados baseada no conhecimento de especialistas do setor e a utilização de modelagem BIM. Dessa forma, entende-se que esses seriam os dois requisitos fundamentais para sua aplicabilidade no cenário nacional.

Com relação à estruturação de conhecimentos, destaca-se que o Brasil possui a formação específica de profissionais especialistas em SST e que existe atualmente uma normatização bastante completa que estabelece os requisitos gerais de segurança na IC. A existência das NR's já fornece uma quantidade significativa de parâmetros para construção da biblioteca de conhecimento nacional, havendo ainda a existência de materiais complementares, como, por exemplo, os manuais de SST de referência da Fundacentro (2019). Ponto de atenção deve ser levantado com relação aos modelos BIM a serem utilizados, uma vez que o nível de conhecimento e maturidade dos respondentes pode induzir ao fato de que os modelos gerados atualmente no cenário nacional ainda não atendam requisitos de qualidade bem definidos.

No segundo estudo, a proposta do SMVS é mais ampla e abrangente, atingindo maior gama de profissionais, utilizando para isso uma maior diversidade de tecnologias e plataformas de visualização que possibilitam maior interação na identificação de riscos. Um dos fatores limitantes de viabilidade para aplicação no Brasil é a necessidade de investimento em capacitação para o uso de dispositivos móveis na gestão da obra e investimento de capital na compra e manutenção desses dispositivos (ANDRADE et al, 2015). Embora crescente, o uso de tecnologias *mobile* ainda é pouco usual em obras do mercado nacional. Em 2013, a Construtora Flechal empregou em canteiro o módulo de qualidade desenvolvido pela Mobuss Construção, que utilizou *tablets* para controle de atividades em canteiro. Segundo a desenvolvedora da solução, a experiência gerou redução de retrabalhos em até 70% (MOBUSS CONSTRUÇÃO, 2019), mostrando que os ganhos potenciais podem ser ampliados muito além da gestão de SST.

O terceiro estudo, que demonstra a implantação do BIM em um caso na França, mostra a importância de se trabalhar em processos de trabalho colaborativos que considerem todas as disciplinas, incluindo as atividades de gestão de SST que comumente é postergada para a fase de execução quando se trata do cenário brasileiro. O desenvolvimento de *templates* e famílias a partir do software Autodesk Revit mostra alinhamento com o que se obteve de dados no questionário realizado, uma vez que o software é o mais citado entre aqueles que declararam já utilizar ferramentas BIM, mostrando ser viável a utilização da solução para auxílio nas decisões de SST desde que amadurecidos os processos de trabalho e gestão. Ponto de atenção se faz mencionar ao fato de que no caso francês, as famílias de elementos de SST foram desenvolvidas por conta da existência de produtos padronizados e rotineiramente utilizados nas obras da empresa, o que não é muito comum no cenário nacional, uma vez que, no Brasil, há grande variabilidade de soluções empregadas. Em muitos casos os equipamentos de proteção coletiva são confeccionados *in loco* e de maneira artesanal, dificultando a implantação de tais ações e exigindo maior padronização e industrialização na cadeia de suprimentos que atende a IC.

Para facilitar a compreensão acerca dos estudos de caso averiguados e sua análise crítica frente ao cenário levantado por meio do questionário, foi confeccionada a tabela 1, que sintetiza as informações e indica ainda as oportunidades para o desenvolvimento de novas pesquisas que possam motivar a elaboração de estudos experimentais para tratar da viabilidade de aplicação de conceitos VDC e DfS na identificação de riscos baseados na realidade nacional.

**Tabela 1:** Síntese de casos estudados e possibilidades de pesquisa.

Caso	Síntese	Cenário Estudado	Oportunidades
5.1 Hossain <i>et al</i> (2018)	Criação de uma biblioteca de conhecimento integrada para análise e identificação de riscos de projeto em um sistema baseado em modelagens da construção (IFC).	NR's e recomendações complementares dão suporte para levantamento de requisitos de segurança. Profissionais ressaltam a relevância de se prever os investimentos de SST ainda na fase de projeto. Nível de maturidade de uso do BIM ainda é baixo.	- Levantamento de referências normativas para a construção de uma biblioteca de conhecimento especializada para o contexto nacional atual; - Desenvolvimento de sistemas para checagem automática de regras DfS em modelos BIM.
5.2 Park <i>et al</i> (2013)	Sistema de visualização e gestão da segurança que usa ferramentas de visualização e imersão (VR, AR), baseado em modelagem de informações dos projetos para a identificação de riscos, sendo utilizada ainda para instrução dos trabalhadores e inspeção <i>in loco</i> .	Uso de dispositivos e tecnologias mobile ainda muito incipiente no Brasil. Necessidade de investimento na capacitação dos colaboradores no uso dos dispositivos móveis, investimento de compra e manutenção dos mesmos dispositivos (ANDRADE <i>et al</i> , 2015).	- Estudo da metodologia de ensino e capacitação de colaboradores; - Aperfeiçoamento de tecnologias; - Estudos de caso sobre a implantação de tecnologias mobile em canteiros para gestão de SST; - Estudos de <i>payback</i> de investimento em processos inovadores de gestão em SST.
4.3 Mattos (2014)	Utilização do software Autodesk Revit na implantação do conceito BIM em uma grande construtora francesa, com destaque para a criação de famílias de elementos voltados à gestão de SST, auxiliando na visualização e identificação de riscos antecipadamente à fase de execução.	O software utilizado no estudo de caso possui boa difusão no mercado nacional. Não existem normatizações específicas sobre o uso de proteções coletivas que amparem a construção de uma biblioteca de famílias BIM padronizada. Há estímulo de políticas públicas ao desenvolvimento da Biblioteca Nacional BIM (BRASIL, 2018).	- Pesquisa de requisitos para normatização de EPC fabricados em canteiros; - Criação de diretrizes para a criação de uma biblioteca de famílias BIM – SST nacional.

**Fonte:** Autores (2019)

## 7. CONCLUSÃO

O conceito de DfS é extremamente importante e relevante como instrumento para a diminuição do elevado número de acidentes que ocorrem na IC. As utilizações do VDC em diversas fases do ciclo de vida de um projeto podem alavancar a utilização do conceito DfS e contribuir ativamente para a sua difusão, sendo as tecnologias de modelagem (BIM) e visualização (VR, AR) mecanismos eficientes para a sua aplicação prática. Embora os ganhos sejam notórios, há ainda a necessidade de que se tenha um cenário favorável ao seu uso, o que envolve a necessidade de amadurecimento quanto aos processos de trabalho e difusão do uso de tecnologias e conceitos na identificação de riscos de SST nos projetos de construção.

Ao se estudar casos de referência internacional foi possível reunir materiais que apontam para diversas iniciativas propondo soluções que aliam princípios de VDC e DfS, mas que devem ser analisados com cautela quanto à sua aplicabilidade em cenários distintos, uma vez que o grau de maturidade de implantação de processos e tecnologias pode impactar sensivelmente a sua viabilidade.

A utilização do questionário possibilitou realizar uma análise crítica mais embasada sobre a aplicabilidade dos conceitos estudados no panorama nacional, bem como indicar lacunas com relação a novas possibilidades de estudo. Foi possível perceber que o mercado brasileiro se encontra em fase de amadurecimento, sobretudo em relação ao uso do BIM. Destaca-se que o último atua como elemento norteador para a aplicação de ferramentas e tecnologias mais rebuscadas, tornando possível se aproximar de um conceito mais amplo como é o caso do VDC.

Os dados revelaram que os profissionais mais habituados aos conceitos são ainda jovens e possuem dificuldade de encontrar parceiros que trabalhem com processos mais inovadores. O fato de a adesão ser crescente entre os profissionais menos experientes indica que o BIM ganhará ainda mais espaço no mercado futuro. A análise revelou ainda que os profissionais especialistas em SST conhecem pouco sobre o tema e suas potencialidades. Unidos, estes fatos reforçam um cenário onde a participação de especialistas em SST nas etapas iniciais é pouco expressiva, fazendo com que as ações de alterações de projeto sejam postergadas para a fase de execução, potencializando as ocorrências de acidentes.

A análise realizada revela que o amadurecimento dos processos de trabalho e uso das tecnologias são peças fundamentais para que seja possível empregar o conceito de DfS de maneira ampla e irrestrita, havendo a necessidade de capacitação e fomento de ações integradas entre os setores produtivos e as universidades, de tal forma que ambos estejam preparados para o novo contexto de gerenciamento da IC. Esta relação universidade-empresa se mostra extremamente positiva, uma vez que problemas de aplicação prática mobilizam interesses científicos e soluções para o mercado, gerando novas oportunidades de pesquisa e negócios.

## 8. REFERÊNCIAS

- ABNT.** ABNT NBR ISO 31.000. Brasília: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.
- ANDRADE, M.; ASSIS, J.; BROCHARDT, M.** O uso de visualizadores portáteis como fator de aumento na produtividade da construção civil. In: Anais VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM, Recife, 2015.
- BARAK, R; SACKS, R.; PERLMAN, A.** Hazard recognition and risk perception in construction. Safety Design, v. 64, 2014, pp. 22-31.
- BEHM, M.** Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. Safety Science, v. 43, 2005, pp. 589-611.
- BRASIL.** Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm). Acesso em: 05 jun. 2019.
- CBIC.** Segurança e saúde na indústria da construção: prevenção e inovação. Brasília: CBIC, 2019.
- ENIT.** SST - NORMATIZAÇÃO - SST - NR - PORTUGUÊS. Disponível em <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default> Acesso em: 20.mai.2019.
- EUROPEAN WORKING CONDITIONS SURVEY.** From Drawing Board to Building Site. European Working Conditions Survey. HMSO: London, 1991 .
- EASTMAN, C.; SACKS, R.; LEE, G. & TEICHOLZ, P.** Manual BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- FUNDACENTRO.** Biblioteca de SST. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/biblioteca/inicio> . Acesso em 05 jun 2019.
- GAMBATESE, J.; BEHM, M.; HINZE, J.** Viability of Designing for Construction Worker Safety. Journal of Construction Engineering and Management, v.: 131, 2005, pp. 1029-1036.
- GANGOLELLS, M.; CASALS, M.; FORCADA, N.; ROCA, X.; FURTES, A.** Mitigation construction safety risks using prevention through design. Journal of Safety Research, v. 41, 2010, pp. 107-122
- GIL, A. C.** Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- GOH, Y. & CHUA, S.** Knowledge, attitude and practices for design for safety: A study on civil & structural engineers. Accident Analysis and Prevention, v. 93, 2016, pp. 260-266.
- GUO, H.; YU, Y.; SKITMORE, M.** Visualization technology-based construction safety management: A review. Automation in Construction, v. 73, 2017, pp. 135-144.





**HSE.** Managing Health and Safety in Construction: Construction (Design and Management) Regulations 2015 - Guidance on Regulations, London: Health and Safety Executive, 2015

**HOSSAIN, M.; ABBOTT, E.; CHUA, D.; NGUYEN, T.; GOH, Y.** Design for Safety knowledge library for BIM integrated safety risk reviews. *Automation in Construction*. 2018, v. 94, pp: 290-302.

**KENSEK, K.** Building Information Modeling: BIM: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

**KHANZODE, A.; FISCHER, M.; REED, D.; BALLARD, G.** A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. *CIFE Working Paper*, v. 93, 2006, pp. 47.

**KUNZ, J.; FISHER, M.** Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. *CIFE Working Paper*, v. 97, 2012, pp. 50.

**MATTOS, J. C.G.** Implementação do BIM numa Grande Construtora Francesa. 2014. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

**MELO FILHO, E. C.; RABBANI, E. R. K.; BARKOKÉBAS JÚNIOR, B.** Avaliação da segurança do trabalho em obras de manutenção de edificações verticais. *Prod.*, v. 22, Dez 2012, pp.817-830.

**MF.** Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho: AEAT 2017. Brasília: Ministério da Fazenda, 2017.

**MOBUSS CONSTRUÇÃO.** Construtora Frechal utiliza Mobuss Construção e reduz retrabalho em até 70%. Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/case-de-sucesso-construtora-frechal/> Acesso em: maio/2019.

**OESTERREICH, T.; TEUTEBERG, F.** Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, v. 83, Out. 2016, pp. 121-139.

**PARK, C.; KIM, H.** A framework for construction safety management and visualization system. *Automation in Construction*, v. 33, 2013, pp 95-103.

**PMI.** A Guide to the Project management body of knowledge - PMBOK Guide, 4th Edition ed. Newton Square: Project Management Institute, 2008.

**RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. V. X.; MORAES, M.** O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 13, abr./jun. 2013, pp. 151 – 165.

**SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J.** Human Error, acidentes and safety. In: SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. *Human Factors in Engineering and Design*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1993. pp. 655 - 695.

**SESI.** Programa Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho para a Indústria da Construção: Manual do instrutor: treinamento admissional. Brasília: SESI/DN, 2015

**SUCCAR, B.;** Building Information Modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in construction*, v. 18, 2009, pp. 357-375.

**TOOLE, T.; GAMBATESE, J.** The Trajectories of Prevention through Design in Construction. *Journal of Safety Research*, v. 39, 2008, pp: 225-230.

**WSHC.** Workplace Safety and Health Guidelines: Design for Safety. Singapore: Workplace Safety and Health Council, 2016.

**ZOU, Y.; KIVINIEMI, A. & JONES, S.** A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, v. 97, 2017, pp 88-98.

**ZHOU, W.; WHYTE, J.; SACKS, R.** Construction safety and digital design: A review. *Automation in Construction*, v. 22, 2012, p. 102-111.