

STEFANIA LIMP MUNIZ CORRÊA

**O uso do BIM na elaboração de propostas técnicas de
obras portuárias**

São Paulo

2023

STEFANIA LIMP MUNIZ CORRÊA

**O uso do BIM na elaboração de propostas técnicas de
obras portuárias**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientador: Eduardo Toledo Santos

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo na publicação

Corrêa, Stefania Limp Muniz

O uso do BIM na elaboração de propostas técnicas de obras portuárias /
S. L. M. Corrêa – versão corr. – São Paulo, 2023.

123p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.BIM 2.Planejamento 3.Terminais de transporte 4.Gestão da Informação
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t

Nome: CORRÊA, Stefania Limp Muniz

Título: O uso do BIM na elaboração de propostas técnicas de obras portuárias

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

À minha família, meus pais, que me ensinam todos os dias que conhecimento é algo que ninguém tira de nós. Ao meu esposo, que esteve ao meu lado e me acompanhou desde quando essa jornada era apenas um sonho longínquo.

AGRADECIMENTOS

Depois desses anos atípicos, sendo dois de pandemia, preciso agradecer por estar aqui, viva, e com saúde, podendo concluir essa etapa.

Meus agradecimentos ao professor Toledo, pelas perguntas que fizeram com que essa dissertação fosse possível, pela paciência e pelo apoio até aqui.

À empresa estudada, que me permitiu iniciar o percurso.

Ao Felipão, sem o qual esse estudo não teria nem conteúdo, nem respostas.

Aos meus amigos, que entenderam minha ausência e me perdoaram por isso.

Meu muito obrigada.

Do not look for healing

At the feet of those

Who broke you

(KAUR, 2023)

RESUMO

O Building Information Modeling (BIM) vem sendo aplicado na indústria da construção civil há pelo menos duas décadas, sobretudo em projetos de edificações. No entanto, em projetos de infraestrutura, que têm suas próprias complexidade e peculiaridades, ainda há a necessidade de adaptar alguns dos conceitos já estabelecidos no mercado de edificações, requerendo uma abordagem específica para a adoção do BIM. A elaboração de propostas técnicas é uma fase do ciclo de vida bastante desafiadora deste tipo de obra, uma vez que as incertezas e riscos presentes exige dos orçamentistas a assunção de hipóteses e premissas que podem influenciar na competitividade da proposta fornecida. Através do emprego da *Design Science Research*, esta pesquisa detalha o processo de elaboração de propostas de infraestrutura portuária e seus desafios, mostrando as atividades que são críticas neste tipo de obra, e propõe diretrizes para elaboração e uso de modelos BIM para seu planejamento. Como resultados, captados através de entrevistas com participantes do processo, percebeu-se a detecção precoce de problemas e elaboração mais segura de cenários, antes realizados em 2D, diminuindo as incertezas inerentes ao processo e suas verbas contingenciais, culminando em propostas mais acuradas, e, por consequência, mais competitivas.

Palavras-chave: BIM, concorrência, infraestrutura, gestão de riscos, planejamento, portos.

ABSTRACT

Building Information Modelling (BIM) has been adopted for at least two decades, mainly on building projects. However, using BIM in infrastructure projects, which have their own complexities and particularities require resorting to some adaptation from building already consolidated concepts. Elaborating a technical proposal is one of the most challenging phases of a project lifecycle, once uncertainties and risks requires from estimators assuming hypothesis and premises that can substantially influence the competitiveness of the final proposal. By applying Design Science Research methodology, this study details the process of developing proposals for port infrastructure projects and its challenges, evidencing the most critical activities of this kind of project, and proposes guidelines for the use of BIM for their planning. The results, captured through interviews with participants, show that it was possible to detect problems earlier and to reduce risks on generating planning scenarios, which were previously developed using 2D drawings. Consequently, reducing uncertainties and its contingency allowances, providing more accurate and, consequently, more competitive technical proposals.

Keywords: BIM, tendering, infrastructure, risk management, planning, ports

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Hierarquia de documentos da PANYNJ | 34 |
| Figura 2: Estrutura de um sistema de conhecimento | 40 |
| Figura 3: Unificação das informações entre projetistas e subcontratados | 44 |
| Figura 4: Adaptação do sistema de classificação de propostas | 56 |
| Figura 5: Etapas da elaboração de propostas técnico-comerciais | 57 |
| Figura 6: Estrutura Analítica do Projeto - Terminal de granel sólido 1 | 60 |
| Figura 7: Estrutura Analítica de Projeto - Terminal de granel sólido 2 | 61 |
| Figura 8: Estrutura Analítica de Projeto – Terminal de Contêineres e Ampliação de cais 1 | 62 |
| Figura 9: Classificação de obras portuárias quanto à finalidade | 63 |
| Figura 10: Classificação de obras portuárias quanto à forma | 63 |
| Figura 11: Ilustração de processo típico de elaboração de projeto e planejamento de obras portuárias durante a fase de propostas..... | 65 |
| Figura 12: Exemplo de layout de estacas para dolfin | 88 |
| Figura 13: Árvore de recursos construída no Synchro | 89 |
| Figura 14: Planilha eletrônica utilizada para preencher os nomes de cada objeto | 91 |
| Figura 15: Códigos dos elementos mapeados no Synchro | 91 |
| Figura 16: Códigos dos elementos nas atividades correspondentes do cronograma | 92 |
| Figura 17: Criação de regras para <i>automatching</i> | 93 |
| Figura 18: Aplicação das regras de <i>automatching</i> , conectando objetos e atividades | 94 |
| Figura 19: Exemplo de criação de tarefa extra agrupando um conjunto de estacas e atribuição do caminho 3D ao recurso vinculado a ela | 95 |
| Figura 20: Caminho 3D (3D path) modelado no Synchro..... | 95 |
| Figura 21: Posições possíveis (em roxo e em cinza/amarelo) para a balsa durante a cravação da EF 04 | 96 |
| Figura 22: Exemplo de estaca com interferência para cravação..... | 97 |
| Figura 23: Funcionalidade transform as assigned, usada para deslocar a balsa nos três eixos, testando-a em diferentes posições para evitar interferências .. | 98 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1:Fases do ciclo de vida onde são utilizadas estratégias de mitigação de riscos | 47 |
| Gráfico 2:Impacto do uso do BIM nos riscos do projeto | 47 |
| Gráfico 3: Tempo médio para geração do primeiro link entre modelo e cronograma | 69 |
| Gráfico 4: Principal origem do modelo | 69 |
| Gráfico 5: Principais dificuldades enfrentadas no planejamento com BIM | 69 |
| Gráfico 6: Número médio de revisões do planejamento com BIM..... | 70 |
| Gráfico 7: Porcentagem de projetos melhorados após o uso do planejamento com BIM | 70 |
| Gráfico 8: Curva de insumos - Terminal de granel sólido 1 | 73 |
| Gráfico 9: Curva de insumos - Terminal de granel sólido 2..... | 74 |
| Gráfico 10: Curva de insumos - Ampliação de cais 1 | 74 |
| Gráfico 11: Curva de insumos - Ampliação de cais 2:..... | 75 |
| Gráfico 12: Curva de serviços – Parte Offshore – Terminal de granel sólido 1 | 76 |
| Gráfico 13: Curva de serviços – Parte Offshore – Terminal de granel sólido 2 | 77 |
| Gráfico 14: Curva de serviços – Parte Offshore – Ampliação de cais 1 | 77 |
| Gráfico 15: Curva de serviços – Parte Offshore – Ampliação de cais 2 | 77 |
| Gráfico 16: Estudo dos riscos quanto à sua probabilidade de ocorrência..... | 80 |
| Gráfico 17: Estudo dos riscos quanto aos seus impactos, caso se materializem | 80 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 1: Resumo dos principais artefatos por classe de problema | 24 |
| Quadro 2: Modelo de quadro para avaliação do artefato | 25 |
| Quadro 3: Critérios de relevância adotados para os artigos que relacionavam o uso do BIM para planejamento..... | 27 |
| Quadro 4: Critérios de relevância adotados para os artigos que relacionavam o uso do BIM para propostas | 27 |
| Quadro 5: Exemplos de classificação de elementos de estruturas | 36 |
| Quadro 6: Exemplos de requisição de LOI..... | 36 |
| Quadro 7: Resumo dos principais artefatos por classe de problema na fase de propostas..... | 54 |
| Quadro 8: Atributos recomendados para facilitar a simulação 4D:..... | 86 |
| Quadro 9: Diretrizes para o uso de BIM para planejamento em propostas técnicas de obras portuárias | 99 |
| Quadro 10: Possíveis entregáveis segundo o tipo de material gerado (2D, macromodelo e modelo executivo)..... | 100 |
| Quadro 11: Resumo do desempenho do modelo quanto aos critérios estabelecidos | 106 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Relevância nos custos por cada tipo de elemento, por projeto estudado:..... | 78 |
| Tabela 2: Consumo de horas na elaboração das propostas avaliadas | 79 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1. | Justificativa | 17 |
| 1.2. | Conceituação do problema | 20 |
| 1.3. | Objetivos | 21 |
| 1.3.1. | Objetivo Geral..... | 21 |
| 1.3.2. | Objetivos Específicos..... | 21 |
| 2. | MÉTODO DE PESQUISA..... | 22 |
| 2.1. | Atividades | 23 |
| 2.2. | Recursos..... | 25 |
| 3. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 26 |
| 3.1. | Planejamento e estrutura da revisão bibliográfica | 26 |
| 3.2. | Obras portuárias – definição e relevância..... | 27 |
| 3.1. | O processo de elaboração de propostas técnicas de obras portuárias . | 28 |
| 3.2. | Building Information Modeling – BIM | 29 |
| 3.3. | A série de normas ISO 19650 e o LOIN (Level of Information Need) Error! Bookmark not defined. | |
| 3.4. | BIM e portos | 33 |
| 3.5. | BIM e propostas..... | 37 |
| 3.6. | BIM e riscos | 45 |
| 3.7. | BIM e planejamento | 49 |
| 4. | IDENTIFICAÇÃO E PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO | 56 |
| 4.1. | O processo de desenvolvimento de propostas de obras portuárias | 56 |
| 4.2. | Custos relevantes em obras portuárias | 73 |
| 4.3. | Levantamento de riscos na etapa de propostas | 80 |
| 5. | DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO..... | 82 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.1. | Fundamentação para as diretrizes de modelagem 3D de obras portuárias | 82 |
| 5.2. | Desenvolvimento da modelagem 3D: | 85 |
| 5.3. | Fundamentos para o uso do BIM para o planejamento de obras portuárias | 88 |
| 5.3.1. | Desenvolvimento da simulação 4D | 89 |
| 5.3.2. | Sequência recomendada para a simulação da posição da balsa para cravação de cada uma das estacas (sem mostrar a manobra completa): | 97 |
| 5.4. | Diretrizes para a modelagem BIM para uso nos estudos do planejamento na fase de propostas de obras portuárias | 98 |
| 6. | AVALIAÇÃO DO ARTEFATO E EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS | 101 |
| 6.1. | Avaliação | 101 |
| 6.1.1. | Feedbacks via entrevistas: | 101 |
| 6.1.2. | Comparação da simulação ponto a ponto <i>versus</i> simulação com todo o caminho 3D: | 104 |
| 6.1.3. | Parâmetros atribuídos aos elementos e regras para o link entre atividades e elementos: | 105 |
| 6.1.4. | Softwares e versão do IFC utilizada | 106 |
| 6.1.5. | Outras oportunidades não exploradas: | 106 |
| 6.2. | Explicitação das aprendizagens | 106 |
| 7. | CONCLUSÕES | 107 |
| | REFERÊNCIAS | 111 |

1. INTRODUÇÃO

A indústria da Engenharia & Construção (E&C) tem interface direta com o dia-a-dia da população (sobretudo a urbana) e com o crescimento da economia mundial. A urbanização induz ao investimento na construção de infraestruturas de mobilidade, comunicação, abastecimento, etc. Além disso, essa indústria tem relação direta com a geração de empregos: um aumento no investimento em infraestrutura da ordem de 1% do PIB mundial geraria, a curto prazo, 1,3 milhões de empregos no Brasil (MCKINSEY & COMPANY, 2016).

A construção civil responde atualmente por uma receita anual de US\$10 trilhões, representando 6% do PIB global (THE BOSTON CONSULTING GROUP, 2016). Pesquisa realizada pela McKinsey & Company em 2016 mostra que seriam necessários investimentos globais da ordem de US\$3,3 trilhões por ano (aproximadamente 3,8% do PIB global) em infraestrutura entre os anos de 2016 e 2030 para garantir as taxas de crescimento mundiais. Em contrapartida, essa indústria vem há décadas enfrentando desafios para o aumento de sua produtividade e de sua agregação de valor. A forma como os serviços são executados foi pouco alterada nos últimos anos, e os métodos construtivos pouco evoluíram em comparação às indústrias automotiva e agrícola (que automatizaram muitos dos seus processos, alterando sobremaneira a forma com a qual trabalham e entregam seus produtos ao mercado). Essa estagnação da digitalização na construção pode ser atribuída a diversos fatores, entre eles: sua fragmentação, a dificuldade de colaboração entre as partes interessadas, mão de obra não qualificada adequadamente, entre outros (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

Com isso, a adoção de tecnologias neste mercado vem se tornando cada vez mais necessária e urgente. Num cenário futurista onde robôs, máquinas sem operadores, sensores e drones coletarão dados instantaneamente e realizarão boa parte dos trabalhos manuais, o BIM (*Building Information Modelling*, ou Modelagem da Informação da Construção) se apresenta como uma das metodologias para a modernização completa de toda a cadeia de valor, sendo, portanto, oportunidade latente para reverter o quadro de baixa produtividade e

digitalização da construção civil, criando novos processos de trabalho, mais integrados, conectados, enxutos e produtivos.

De acordo com o Decreto 9.983/2019 (BRASIL, 2019), considera-se o BIM ou Modelagem da Informação da Construção o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção.

São inúmeros os estudos sobre os benefícios da adoção da metodologia, dentre os quais podem ser citados: melhor controle de custos e de prazos, e melhores comunicação e coordenação (BRYDE *et al.*, 2013).

No Brasil, são diversas as iniciativas sobre o tema, destacando-se a Estratégia Nacional BIM BR, instituída no Decreto nº 9.377/2018, que prevê a difusão da metodologia através da criação de um ambiente de fomento no país (MDIC, 2018). De acordo com o relatório SmartMarket Report (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2014), apenas 3% das empresas brasileiras utiliza BIM há mais de 6 anos, sendo que a maioria (70%) se encontra nos primeiros anos de adoção (1-2 anos de uso). O relatório também reporta que 85% das empresas que utilizam a metodologia têm percepção de ROI (retorno sobre investimento) positivo. Assim, pode-se afirmar que o mercado brasileiro de BIM está em crescimento, tendo, portanto, espaço para novos desenvolvimentos e estudos da metodologia.

A presente pesquisa busca avaliar o método de elaboração de propostas para obras de infraestrutura, evidenciando as dificuldades neste processo e verificando a aplicabilidade do BIM nesta fase do ciclo de vida dos empreendimentos, gerando diretrizes para sua adoção.

1.1. Justificativa

O mercado da construção civil ainda se mostra resistente à adoção sistemática de tecnologia em suas atividades. O discurso da digitalização da construção e da indústria 4.0 ainda não é disseminado com grandes impactos nos canteiros de obras, sobretudo de infraestrutura, que se mostram ainda mais

conservadores (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2014). Esse conservadorismo na adoção de novas tecnologias pode ser explicado pela falta de clareza de seus benefícios (BJÖRK, 2003), aliada a outros fatores, como: a sensibilidade das empresas aos seus problemas de processo, a percepção da tecnologia como vantagem competitiva ou oportunidade, e à falta de requisitos externos à organização (MITROPOULOS, PANAGIOTIS; TATUM, 2000).

A produtividade e agregação de valor dos serviços relacionados à construção não apresenta crescimento relevante nas últimas décadas, tendo, inclusive, diminuído no referido período (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). Pesquisa da McKinsey&Company datada de 2016 mostra que a construção é um dos setores da indústria menos digitalizados, sendo essa uma das causas apontadas para o desvio médio de 20% nos prazos de conclusão e de 80% nos custos dos empreendimentos (MCKINSEY & COMPANY, 2016).

O Fórum Econômico Mundial (WEF, 2016) ressaltou que os países em desenvolvimento responderiam por 65% do crescimento da construção entre os anos de 2016 e 2026. Sendo assim, o investimento em tecnologia nesse mercado pode trazer respostas favoráveis ao crescimento da demanda por infraestrutura dos próximos anos, agregando mais valor aos investimentos realizados, visando o cumprimento de prazos e custos pactuados.

No que tange à contratação de obras de infraestrutura, o modelo tradicional brasileiro, segundo a Lei 8.666/1993 (BRASIL, 1993), é o design-bid-build (projeto-concorrência-construção). Nesse tipo de empreitada, a construtora que será responsável pela obra não participa do processo de concepção do projeto. Essa prática não favorece a colaboração entre as partes interessadas no empreendimento (cliente, construtora, projetistas, fornecedores, etc.), dificultando o compartilhamento do conhecimento nas fases iniciais do projeto, onde a colaboração pode gerar maior valor (EASTMAN *et al.*, 2014). Contratações via design-bid-build ainda estão sujeitas à dificuldade no gerenciamento de conflitos, visto que, uma vez que o conhecimento da construtora não foi incorporado ao projeto, pode haver mudanças significativas no projeto oriundas da dificuldade de executá-lo em campo durante a fase de construção, incidindo em aumentos de custo e prazo.

No processo tradicional de estimativas de preço para as licitações, as construtoras se baseiam sobretudo em informações em duas dimensões (2D) para o levantamento das quantidades do empreendimento, que depois são transferidas para planilhas de cálculo eletrônicas. A cada alteração do projeto (prática comum no processo licitatório sobretudo quando há rodadas de perguntas e respostas), é necessário revisar a documentação, processo esse bastante demandante em termos de horas de trabalho, e sujeito a erros e omissões (TABOADA; GARRIDO-LECCA, 2014). Outra importante questão relativa à orçamentação de obras está na relevância do feedback integral para a obtenção de propostas técnico-comerciais mais competitivas (OO; LING; SOO, 2014).

O uso do BIM no Brasil está em crescimento, sendo sobretudo aplicado em empreendimentos de edificações comerciais (53%) (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2014), enquanto para empreendimentos não relacionados a edificações, esse número cai para 20% em média. Esses dados refletem a adoção relativa do BIM de forma mais consistente no setor de edificações que no setor de infraestrutura. Para a etapa do fluxo de vida do empreendimento onde são gerados os orçamentos e propostas técnico-comerciais, o uso do BIM ainda é pouco estudado, não existindo vasta bibliografia disponível conectando os dois temas (BIM e propostas).

Tabela 1: Uso do BIM em projetos de edifícios

| Projetos de edifícios | Reino Unido | França | Alemanha | EUA | Canadá | Brasil | Japão | Coreia do Sul | Austrália / NZ |
|---|-------------|--------|----------|-----|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| Comerciais (escritórios, varejo, hotéis) | 69% | 68% | 59% | 66% | 54% | 53% | 63% | 48% | 70% |
| Institucionais (educação, hospitais, religiosos) | 61% | 32% | 31% | 77% | 41% | 31% | 23% | 35% | 39% |
| Governamentais / públicos (fóruns, embaixadas, esportes e convenções) | 54% | 10% | 22% | 68% | 44% | 12% | 0% | 51% | 37% |
| Residenciais multifamiliares | 33% | 35% | 44% | 18% | 26% | 19% | 23% | 20% | 26% |
| Residenciais unifamiliares | 17% | 19% | 22% | 1% | 10% | 16% | 0% | 1% | 4% |

Fonte: Adaptado de McGraw Hill Construction (2014)

Tabela 2: Uso do BIM em projetos não relacionados a edifícios

| Outros projetos | Reino Unido | França | Alemanha | EUA | Canadá | Brasil | Japão | Coreia do Sul | Austrália / NZ |
|--|-------------|--------|----------|-----|--------|--------|-------|---------------|----------------|
| Infraestrutura (rodovias, pontes, túneis, baragens, saneamento) | 33% | 19% | 16% | 14% | 31% | 28% | 13% | 24% | 25% |
| Industriais / manufatura | 26% | 23% | 19% | 35% | 36% | 31% | 47% | 24% | 34% |
| Industriais / energia (geração de energia primária, plantas de óleo e gás) | 20% | 13% | 3% | 18% | 28% | 12% | 0% | 21% | 16% |
| Mineração / recursos naturais | 6% | 0% | 0% | 4% | 18% | 6% | 0% | 1% | 11% |

Fonte: Adaptado de McGraw Hill Construction (2014)

Uma pesquisa realizada com gerentes e coordenadores da área de proposta de uma grande empresa revelou que o processo, além de bastante complexo em termos de etapas e produtos gerados, apresenta oportunidades de melhoria visando a tomada de decisões direcionada ao aumento de competitividade. O prazo exíguo para a geração de um estudo completo do projeto, precificando-o, requereria, segundo os entrevistados, a automatização de atividades manuais, substituindo-as por outras de maior valor agregado (maior foco na engenharia de valor). Gerar a melhor proposta técnica passa, necessariamente, por um estudo minucioso do projeto em questão, ponto no qual pode-se ter benefícios a partir da adoção do BIM, além de agilidade e acurácia às estimativas de custo geradas. Porém, para tanto, serão necessárias mudanças nas práticas de negócio, aliadas a ações de treinamento (JENSEN, 2011).

1.2. Conceituação do problema

A etapa de elaboração de propostas de obras portuárias envolve o desenvolvimento de produtos de engenharia (projeto) e planejamento (cronograma) de maneira expedita, tendo, em média, prazo de 90 dias para o entendimento do edital, contratação de uma empresa projetista, desenvolvimento/detalhamento do projeto, extração/confirmação das quantidades, elaboração do cronograma e dos custos diretos e indiretos relacionados, culminando com o preço final. Neste processo, os times de projeto tomam uma série de decisões, costumando apoiar-se muitas vezes em suas

próprias experiências, agregando subjetividade e riscos no desenvolvimento desses estudos. Além disso, algumas das etapas ainda são bastante manuais, aumentando o risco de erros ao trabalhar as informações, erros estes que são detectados somente durante a fase de obra, colocando em risco o prazo e o custo inicialmente estabelecidos na época da licitação. Através do uso de BIM durante essa etapa do ciclo de vida deste tipo de obra, busca-se dar informação de maior qualidade para a tomada dessas decisões, e de maneira mais rápida, culminando com estudos de maior qualidade e, portanto, mais competitivos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Propor método para elaboração e uso de modelos BIM na etapa de preparação de propostas técnicas de obras de infraestrutura portuária, permitindo a realização efetiva de engenharia de valor e dando agilidade a esta etapa. Facilitar o entendimento mais rápido e preciso do escopo do projeto, das premissas e metodologias propostas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Documentar o processo de elaboração de propostas técnicas para obras de infraestrutura (especificamente para as obras de portos) e suas principais dificuldades;
- b) Gerar conjunto de diretrizes BIM 4D objetivando, dentre outros aspectos, a visualização do plano de ataque das obras, interferências dinâmicas e ocupação de espaços no canteiro.

2. MÉTODO DE PESQUISA

O método a ser empregado na presente pesquisa será a *Design Science Research (DSR)*.

A DSR é um método de pesquisa relativamente recente (estudos mais frequentes foram feitos nas décadas de 90 e 2000), dedicada ao estudo das “ciências do artificial”, buscando a concepção de artefatos que se destinam a funções específicas, garantindo cumprimento de objetivos pré-definidos, atividade essa comum às escolas de Engenharia. O “artificial” seria todo contexto caracterizado como “não-natural”, “não-tradicional”, ou seja, aquele que sofreu interferência da ação do homem.

Em contraposição às pesquisas tradicionais, que têm por objetivo explicar e descrever fenômenos naturais, a DSR busca estudar o artificial, criando artefatos ou constructos orientados à solução de problemas específicos, tendo, assim, caráter mais prescritivo (DRESCH, LACERDA e ANTUNES JR, 2015) do que as ciências naturais.

Um aspecto importante na condução de uma pesquisa com o uso da DSR é a extrapolação dos problemas segundo uma classe. As “classes de problemas” têm como objetivo viabilizar a aplicação dos resultados de uma pesquisa (ou seja, seus artefatos) não só ao problema estudado em si, mas sim a uma classe de problemas correlatos àquele estudado, generalizando e favorecendo a pesquisa.

A DSR segundo (LACERDA et al., 2013) está dividida em etapas, a saber:

- a) Conscientização: formalização do problema investigado, definição do ambiente e condições de sucesso do estudo;
- b) Sugestão: exploração de artefatos e definição de qual(is) será(ão) estudado(s) ou proposto(s). Nesta etapa, são definidos os parâmetros para a aceitação dos artefatos que serão propostos;
- c) Desenvolvimento: etapa onde é gerado o conhecimento do artefato em si, mostrando sua relevância para a referida classe de problemas estudada, buscando sua aplicação em problemas similares;

- d) **Avaliação:** validação do desempenho do artefato, dividida em 3 partes: delimitação do ambiente interno (do artefato), externo (do meio onde ele se insere), e objetivos; metodologia de testes; e mensuração dos resultados. O principal objetivo desta etapa vai além do rigor da pesquisa, buscando mostrar a adequabilidade (ou não) do artefato pesquisado, dando sua relevância para o mercado;
- e) **Conclusão:** trata-se da formalização da pesquisa e sua comunicação para a academia e mercado.

A metodologia se mostra adequada para a presente pesquisa, tendo em vista que se propõe o desenvolvimento de diretrizes de modelagem ainda não disponíveis na bibliografia, buscando solucionar um problema específico presente nas organizações que realizam propostas para obras de infraestrutura. Por ser um problema fundamentado em necessidades do mercado, a aplicabilidade da DSR é ainda mais latente, uma vez que se busca “criar e projetar artefatos que tenham as propriedades desejadas e alcancem objetivos definidos” (SIMON, 1996).

2.1. Atividades

As atividades da referida pesquisa foram realizadas conforme segue:

- a) **Conceituação e identificação do problema:** Realizado um breve resumo da problemática encontrada pelas empresas que participam de licitações de obras de infraestrutura portuária.
- b) **Revisão bibliográfica:** Nesta etapa foram realizadas buscas em bases de pesquisas (teses, artigos, dissertações, etc.) que já mapearam dificuldades no processo de elaboração de propostas técnicas de obras, bem como de aplicação do BIM nesta etapa, sobretudo para obras de infraestrutura. O objetivo foi levantar o conhecimento necessário em relação ao tema, gerando amplitude e foco para os próximos passos da pesquisa. Com base no conhecimento gerado, foram identificados artefatos já concebidos nos estudos realizados, auxiliando na proposta do artefato desenvolvido na pesquisa. Para tanto, o conhecimento foi dividido em classes de problemas, relacionando os artefatos desenvolvidos e seu

desempenho, tendo como produto um quadro resumo (Quadro 1) com os referidos dados:

Quadro 1: Resumo dos principais artefatos por classe de problema

| Classe de problema | Artefato sugerido | Desempenho observado |
|--------------------|-------------------|----------------------|
| | | |

Fonte: Autora

- c) **Identificação e proposição do artefato:** nesta etapa, ilustrou-se o fluxo de elaboração de propostas técnico-comerciais de uma empresa que realiza obras de infraestrutura, identificando os gaps nele existentes, principalmente nas etapas cujo núcleo é a engenharia e o planejamento. Através de entrevistas com os colaboradores, foram mapeadas as oportunidades de melhoria em relação ao processo existente. Também são apresentados dados relacionados às dificuldades mapeadas (análise do histórico e práticas atuais da empresa, variações nos tipos de projeto, estudos de estruturas analíticas de projeto e curvas ABC de custos, requalificações, etc.).
- d) **Desenvolvimento do artefato:** Nesta etapa é apresentado o desenvolvimento do artefato em si, conectando o conhecimento da bibliografia com a contextualização do problema corporativo delineado nas etapas anteriores. São listados os requisitos e passos para a geração de modelos BIM buscando solucionar os gaps identificados anteriormente, descrevendo as etapas de sua construção e seus componentes.
- e) **Avaliação do artefato e explicitação das aprendizagens:** o artefato definido e desenhado nas etapas anteriores foi avaliado através de entrevistas com profissionais da área e sob a ótica da experiência profissional da autora. Também foram avaliadas delimitações da aplicação do artefato, bem como se ele atendeu ou não às expectativas esperadas. Para isso, elaborou-se um quadro resumo conforme Quadro 2:

Quadro 2: Modelo de quadro para avaliação do artefato

| Critério | Desempenho inicial (antes da aplicação) | Desempenho mensurado (na aplicação) | Atendeu às expectativas? (Sim / Não) |
|----------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | |

Fonte: Autora

- f) **Conclusão:** São apresentadas as conclusões do estudo conectando os problemas e oportunidades mapeados no processo de proposta e as soluções obtidas pelo uso do artefato, bem como as limitações encontradas no desenvolvimento/avaliação do estudo em si.
- g) **Generalizações:** Nesta etapa, foram feitas generalizações dos resultados obtidos, de forma que o conhecimento gerado e validado para o caso em questão seja também fonte de conhecimento para um conjunto de outros problemas semelhantes enfrentados por outras organizações.
- h) **Comunicação dos resultados:** Foi feita a partir dessa dissertação e de artigos que foram publicados em periódicos e congressos no decorrer da pesquisa, bem como de artigos futuros a serem publicados.

2.2. Recursos

Como recursos para a adequada condução da pesquisa, foram necessários:

- Software Autodesk Revit, para modelagem 3D, disponibilizado pela empresa;
- Software Bentley Synchro, para modelagem 4D, versão estudantil;
- Software Microsoft Project, fornecido pela empresa;
- Hardware compatível com requisitos mínimos para performance dos softwares acima, fornecido pela empresa;
- Disponibilidade da equipe da área de propostas para treinamentos, coleta dos dados e avaliação dos métodos aqui propostos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Planejamento e estrutura da revisão bibliográfica

Esta revisão bibliográfica teve como princípio a contextualização e definição do conceito de obras portuárias e seus tipos, para melhor entendimento dos projetos cujas propostas serviram de base para este estudo. Na sequência, é apresentado um resumo dos desafios encontrados no desenvolvimento de propostas.

Por fim, buscou-se a observação do uso do BIM sob três óticas: usos de BIM na etapa de orçamentação/concorrência, BIM para redução de riscos, e BIM para planejamento. Estes temas foram escolhidos dada a influência das incertezas no processo de orçamentação de projetos de infraestrutura, afetando questões de planejamento e, conseqüentemente, o preço final proposto ao cliente.

A revisão foi realizada no período de agosto a dezembro de 2022, através de buscas nas bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct (nesta ordem). As consultas formuladas para a pesquisa nas bases de dados foram:

- Ports AND BIM;
- “Risk management” AND BIM;
- (4D planning) AND BIM;
- (bidding OR tendering) AND BIM

As buscas foram feitas incluindo os campos título, resumo e palavras-chave, em artigos publicados entre os anos de 2010 (inclusive) e 2022.

As buscas foram assim definidas uma vez que, na elaboração de propostas técnico-comerciais, são feitas hipóteses e, a partir delas, considerados seus riscos e impactos. O planejamento também é item crucial na elaboração do material a ser entregue para o cliente, pois é dele que derivam os custos do projeto e onde muitas decisões são tomadas (frentes de trabalho, produtividades, histogramas, etc.), que influenciam diretamente o custo final.

Como o enfoque deste trabalho está relacionado às obras portuárias, os critérios de inclusão e exclusão foram baseados nas especificidades deste tipo de empreendimento, conforme visto na conceituação do problema. Assim, foi

atribuída relevância alta aos artigos diretamente relacionados ao processo de propostas de obras de infraestrutura. Os artigos voltados para controle e acompanhamento de produção e avanço físico no período de obras foram considerados como de relevância média, conforme mostrado nos Quadros Quadro 3 e Quadro 4:

Quadro 3: Critérios de relevância adotados para os artigos que relacionavam o uso do BIM para planejamento

| Relevância considerada | Temas abordados |
|-------------------------------|--|
| Alta | Uso em estágios pré-construção, pré-moldados, LNGs, LOD para 4D, uso de guias, automatização de alternativas de planejamento, Last Planner System, clash detection, CSCW (<i>Computer-supported collaborative work</i>), maturidade BIM, e revisões sistemáticas ou bibliométricas da literatura |
| Média | Pontes, GIS, segurança, criação de sistemas, congestionamento de frentes de trabalho, transformação da indústria, relevância média |
| Baixa | Atualização do avanço físico, evacuação, demolição, <i>facility management</i> , 5D, 6D, descomissionamento ou demolição, planos diretores de zonas urbanas, obras subterrâneas, túneis, obras nucleares, inteligência artificial, monitoramento automático de avanço físico de obra, RFID, cura e juntas em concreto, educação ou treinamento |

Fonte: Autora

Quadro 4: Critérios de relevância adotados para os artigos que relacionavam o uso do BIM para propostas

| Relevância considerada | Temas abordados |
|-------------------------------|--|
| Alta | Uso colaborativo da metodologia em estágios de licitações, pré-moldados, aço |
| Média | <i>Procurement</i> , fachadas de edifícios residenciais, reformas, pontes |
| Baixa | Adoção macro do BIM, rodovias, educação e treinamento, gestão de resíduos, 5D, aspectos legais, CAVE (<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>) |

Fonte: Autora

3.2. Obras portuárias – definição e relevância

Obras portuárias podem ser definidas como aquelas que permitem o transporte aquaviário de passageiros ou carga, bem como aquelas de proteção de talude ou bases militares. Este tipo de obra se caracteriza pela existência de uma parte

em terra (*onshore*) e uma parte em água (*offshore*), cuja finalidade principal é prover estruturas para atracação e amarração de navios. Os portos podem ser classificados como marítimos ou fluviais.

Segundo o Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2015), o sistema portuário pode ser dividido em três categorias: portos marítimos, sendo “aqueles aptos a receber linhas de navegação oceânicas, tanto em navegação de longo curso (internacionais) como em navegação de cabotagem (domésticas), independente da sua localização geográfica”, fluviais, “aqueles que recebem linhas de navegação oriundas e destinadas a outros portos dentro da mesma região hidrográfica, ou com comunicação por águas interiores” e portos lacustres, “aqueles que recebem embarcações de linhas dentro de lagos, em reservatórios restritos, sem comunicação com outras bacias”.

Os terminais portuários nacionais (assim como outras obras de infraestrutura) têm sido objeto de concessão pelo Ministério da Infraestrutura, buscando maior eficiência portuária através da redução de gargalos. Durante a Infra Week, realizada entre os dias 07 e 09 de abril de 2021 na Bolsa de Valores de São Paulo, foram concedidos à iniciativa privada cinco terminais portuários brasileiros, sendo quatro no Maranhão e um no Rio Grande do Sul, representando um montante de investimento da ordem de R\$ 610 milhões de reais, o que mostra a relevância desse mercado no âmbito nacional. (BRASIL, 2020).

3.3.O processo de elaboração de propostas técnicas de obras portuárias

O processo de elaboração de propostas técnicas envolve consolidar toda a experiência prévia de uma empresa para definir o orçamento de um novo projeto para um potencial cliente. Participar de concorrências, portanto, requer não só mão de obra qualificada e experiente, mas também envolve a tomada de decisões baseadas em análises multicritério e escolhas, que são traduzidas finalmente em estimativas de custo (ASLESEN et al., 2018).

Os maiores desafios da estimativa de custos de um projeto são: i) o fato de que, nos estágios iniciais de um projeto (quando a qualidade da estimativa de custos

tem seu maior impacto no sucesso de um projeto), a informação disponível é limitada; ii) a alta variedade de fatores internos e externos, desde o projeto e especificações de engenharia até as tecnologias da cadeia de suprimentos e regulações e limitações locais, que impactam no custo total. Assim, identificar todos os fatores relevantes, considerá-los no modelo de orçamento, definir metodicamente sua relação com os custos e, finalmente, construir um modelo de orçamentação robusto, porém flexível e extensível, contribuem para a complexidade da estimativa de custos (ARAM; EASTMAN; BEETZ, 2014).

3.4. Building Information Modeling – BIM

O termo BIM (Building Information Modelling, ou Modelagem da Informação da Construção), pode ser definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção (EASTMAN et al., 2011). A metodologia pode ser usada em todas as fases do ciclo de vida de um projeto, sendo, para tanto, necessária a integração dos diversos stakeholders da cadeia da construção civil.

A base da metodologia está na utilização de modelos tridimensionais cujos componentes são inteligentes (têm comportamento pré-definido), e que podem ser associados a informações e regras paramétricas. Os dados de um modelo BIM são necessariamente consistentes, não redundantes e coordenados, isto é, as modificações feitas nos componentes se refletem em todas as visualizações do modelo, de forma coordenada (EASTMAN et al., 2014).

O Brasil vem se movimentando para uma adoção mais sistemática da metodologia, tendo, em 2018, lançado a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM, cujos resultados esperados são, entre outros, assegurar ganhos de produtividade no setor de construção civil, reduzir prazos para a conclusão das obras e estimular a redução de custos existentes no ciclo de vida dos empreendimentos (BRASIL, 2018). O roadmap proposto prevê a utilização e exigência do BIM em três fases, sendo a primeira a partir de janeiro de 2021 (para a fase de projetos de construções novas, ampliações e reabilitações), a segunda a partir de janeiro de 2024 (para execução de projetos e obras), e a terceira, a partir de janeiro de 2028 (considerando também serviços de gerenciamento e manutenção do empreendimento) (BRASIL, 2018).

A nova lei de licitações (Lei nº 14.133/2021) em seu artigo 193, inciso II, revoga a antiga Lei nº 8.666/93, e informa que, “nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modelling - BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substituí-la” (BRASIL, 2021), o que reforça a importância do BIM no âmbito público nacional.

3.5. Normatização BIM e os requisitos de informação

A série de normas ISO 19650 (Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção) teve sua primeira e segunda partes traduzidas e publicadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) em 2022 (ABNT¹, 2022 e ABNT², 2022). A primeira parte trata dos conceitos e princípios para uma gestão adequada da informação nos projetos que terão o uso do BIM. A parte 2 se dedica à chamada fase de “entrega” dos ativos, que pode ser entendida como as atividades que ocorrem desde o projeto, até a construção e comissionamento destes. A parte 3, orientada à fase de operação dos ativos, está publicada em inglês (ISO¹, 2020), estando em tradução pela ABNT. A parte 4, dedicada às trocas de informação, também está publicada em inglês desde 2022 (ISO², 2022). A parte 5, que trata de uma abordagem de segurança para a gestão da informação, também está publicada em inglês (ISO³, 2020). A parte 6, que tratará de aspectos de saúde e segurança, está ainda em desenvolvimento pela ISO Internacional.

Alguns aspectos importantes são estabelecidos nas publicações já realizadas. Notoriamente, destacam-se as definições dos Requisitos de Informação. De acordo com a norma, Requisitos de Informação são aqueles que especificam “o quê, quando, como e para quem a informação deve ser produzida” (ABNT¹, 2020). São estabelecidos Requisitos de Informação da Organização, do Ativo e do Projeto (OIR – *Organization Information Requirements*, AIR – *Asset Information Requirements* e PIR – *Project Information Requirements*). Os Requisitos de Informação da Organização são aqueles estabelecidos pelo proprietário, direcionando para o atendimento dos objetivos de negócio da

empresa. Os Requisitos de Informação do Ativo são aqueles orientados para a operação do ativo em si, e os Requisitos de Informação do Projeto são aqueles relacionados à entrega de um ativo. Por fim, são estabelecidos os requisitos de troca de informação (EIR – *Exchange Information Requirements*), que são aqueles que "direcionam o acordo de troca de informações referentes às atividades, mercadorias ou serviços, mesmo que ainda não se tenha um contrato formalizado entre as partes" (ABNT¹, 2020).

Para cada uma das fases da etapa de entrega de um ativo, também são estabelecidos diferentes modelos BIM, a saber: Modelo de Informação do Projeto (PIM – *Project Information Model*) e Modelo de Informação do Ativo (AIM – *Asset Information Model*). Os modelos e requisitos se relacionam entre si conforme Figura 1:

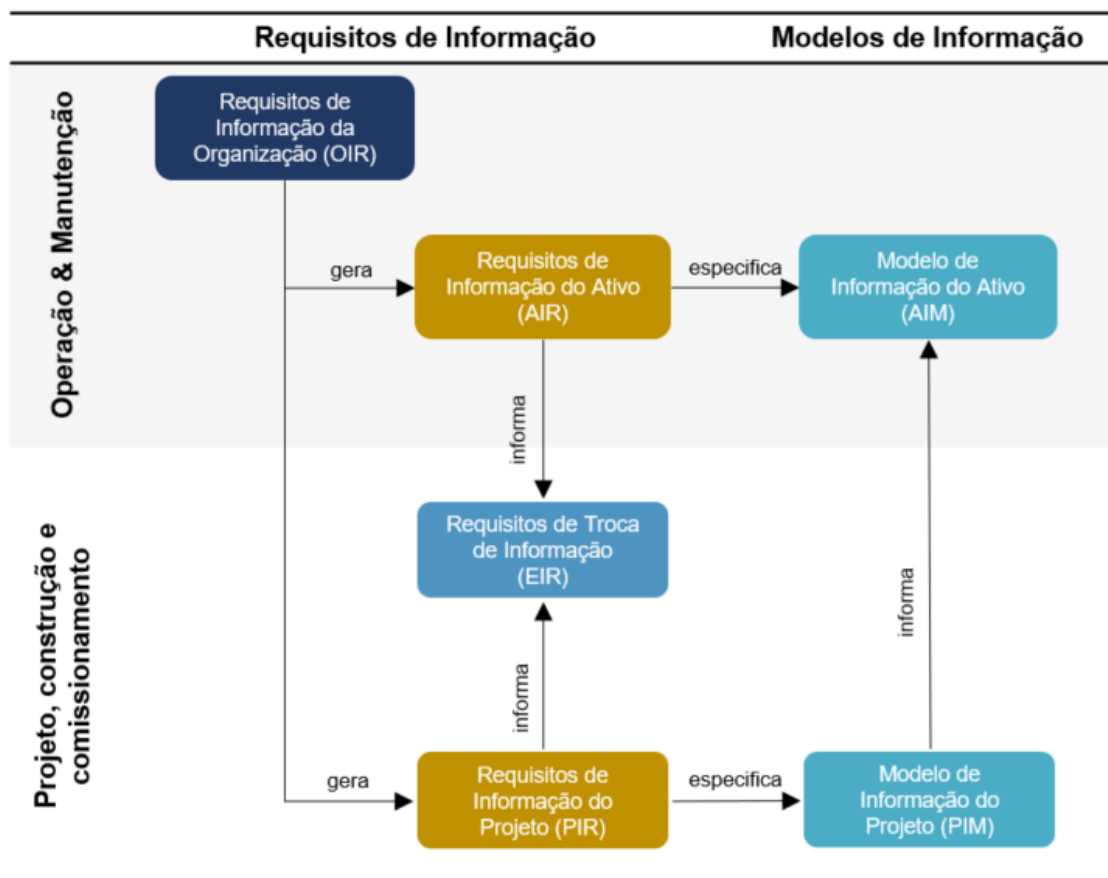


Figura 1: Relação entre Requisitos e Modelos de Informação
 Fonte: Adaptado de ABNT¹ (2020)

De maneira semelhante à série de normas ISO 19650, a norma EN 17412-1:2020 (CEN, 2020), que é de âmbito europeu, tem por objetivo “apresentar

conceitos e princípios para definir o Nível Necessário de Informação”, e evitar que sejam entregues mais informações além daquelas necessárias. A norma ressalta que, uma vez que foram sendo desenvolvidos diferentes padrões e termos relacionados ao BIM para as diferentes localidades globais, o entendimento comum dos dados ficou prejudicado. O Nível Necessário de Informação é o framework pelo qual a norma define a extensão e granularidade da informação (geométrica e não-geométrica) que será compartilhada, e leva em conta: o propósito para o uso da informação (o porquê de estar sendo requisitada), os marcos de entrega para a informação em questão, os atores requerentes e os responsáveis pela sua entrega, e os objetos organizados em uma ou mais estruturas analíticas. A relação entre

A buildingSMART desenvolveu o IDS (Information Delivery Specification) justamente com o intuito de apoiar a validação de modelos baseados no esquema IFC (Industry Foundation Classes) (BSI, 2020). É um documento interpretável por computadores que define requisitos de trocas de informação baseada em modelos, definindo como objetos, classificações, materiais, propriedades e até mesmo valores devem ser entregues e trocados entre as partes. Ele pode ser usado pelos proprietários para definir os RTI, conforme preconizado pela série ISO 19650. A partir dele, os modeladores constroem as informações no modelo de maneira estruturada, o que facilita também a checagem posterior, por validadores ou mesmo pelo proprietário. Um esquema desta relação pode ser visto na Figura 2:

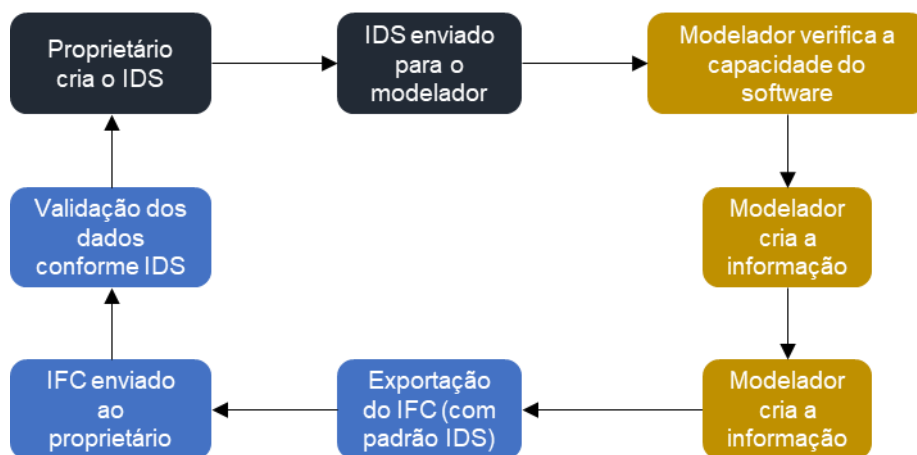


Figura 2: Ciclo de troca de informações baseado em IDS
Fonte: Adaptado de BSI (2020)

3.6. BIM e portos

Schilling e Rygel (2019) utilizaram BIM no projeto de uma ampliação de cais em Washington (EUA), para a marinha americana. A partir de informações coletadas via 98 escaneamentos a laser (Autodesk Recap) feitos em 14 dias e medições topográficas, foi possível modelar as disciplinas de civil, arquitetura e elétrica/mecânica, no Autodesk Revit 2017. Os autores ressaltam a importância da nuvem de pontos para que os membros da equipe fizessem visitas virtuais ao site, eliminando a necessidade de se deslocarem fisicamente ao local, um dia inteiro de trabalho de uma equipe de 2 pessoas. Além disso, é destacada também a importância do escaneamento a laser para que se pudessem ser medidas as estruturas existentes. Os diferentes modelos criados também foram úteis na compatibilização das disciplinas, através de checagens semanais. Os autores mencionam que a coordenação e compatibilização das disciplinas de utilidades, da maneira em que foi realizada, é comum durante a fase de projeto de edifícios, mas não em projetos de píeres. Também foi realizada a coordenação de tubulações em áreas confinadas e submersas (para submarinos) e de equipamentos nos edifícios existentes. Por último, foi descrito o uso da modelagem 3D para a análise da influência das marés (alta e baixa variando 5,4 metros) no projeto, que continha estruturas flutuantes e elementos de ligação que poderiam influenciar na estrutura fixa.

Xinruo (2020) também propõe o uso de BIM para a melhoria da capacidade de suporte de carga das estruturas de um dique insular. Para isso, foram coletados dados hidrológicos sobre marés, além da altura, frequência e direção das ondas. Foram então criados modelos no Autodesk Revit das disciplinas baseados em desenhos 2D, segundo critérios pré-estabelecidos (não detalhados no estudo. Esses modelos foram avaliados no Autodesk Navisworks em relação a: problemas de projeto, otimização de interferências, direcionamento visual da fase de construção, extração de quantidades e custos, construção do cronograma, gestão de qualidade e segurança, construir base de dados de engenharia em BIM e análises de planejamento. A partir das análises feitas para diferentes layouts de estacas, o autor percebeu que a capacidade final das estacas foi, no mínimo, 75% maior daquelas registradas em literatura, provando o valor do uso do BIM para essa finalidade estrutural.

Os guias da Port Authority New York New Jersey – PANYNJ, cujas últimas edições datam entre 2020 e 2023, apresentam uma série de requisitos para o uso de BIM desde a fase de desenho conceitual até a entrega e operação do ativo.

Em particular, o guia de requisitos de construção e desenho virtuais (PANYNJ¹, 2023) prevê um plano de entrega da informação (*Information Delivery Plan – IDP*), que contém, entre outros (Figura 3):

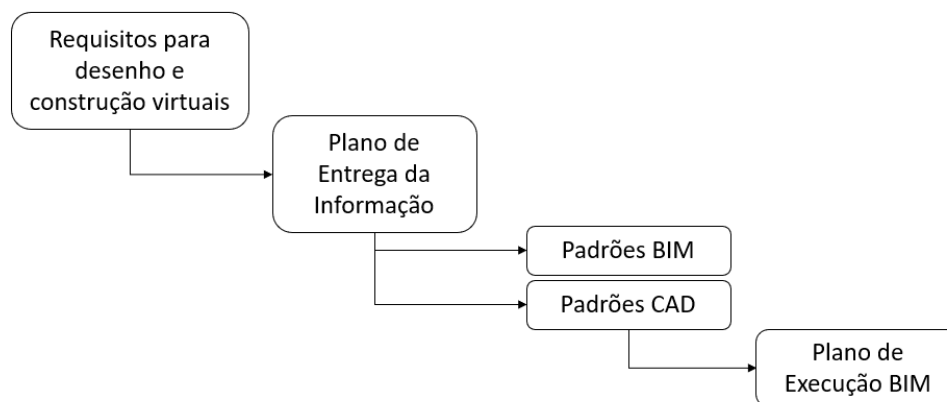


Figura 3: Hierarquia de documentos da PANYNJ
Fonte: Adaptado de PANYNJ¹ (2023)

- a) Orientações para as trocas de modelos
- b) Parâmetros comuns e detalhados a serem utilizados:
- c) *Model Element Table* (MET) a ser usada nos projetos, que detalha o LOD (Level of Development, ou Nível de Desenvolvimento, cuja referência é o padrão adotado pela última versão disponível das diretrizes do BIM Fórum americano) de cada elemento, bem como a responsabilidade por cada um deles. É importante ressaltar que, dentre os parâmetros listados referentes ao uso de planejamento em BIM, estão o *Activity ID* (que deve ser único, ou seja, cada elemento deve referenciar apenas uma atividade do cronograma), o status do elemento (1, 2 ou 3, conforme padrão estabelecido pela PANYNJ, sendo 1 – projeto conceitual, 2 – projeto preliminar, 3 – projeto final, 4 – em construção ou construído ou 5 – em operação).
- d) Listas de classificações de objetos (Ex.: Unifomat)

O guia também orienta quanto à frequência das entregas tanto para contratos do tipo design-bid (projeto-licitação) quanto do tipo design-bid-build (projeto-licitação-construção), softwares e versões a serem utilizados, templates para a execução de projetos e sistemas de coordenadas a serem adotados.

Além do guia de requisitos de construção e desenho virtuais, a PANYNJ também tem publicado um guia de padronização para o uso de BIM (PANYNJ², 2023). Nele, o órgão solicita que modelos voltados ao planejamento de obras portuárias só sejam entregues na fase de construção dos projetos, não constando nas etapas de projeto conceitual, preliminar ou detalhado, onde o foco é dado a modelos do projeto a ser construído e nas condições existentes. No documento, também são referenciadas bibliotecas de objetos a serem usadas (famílias em Autodesk Revit), além de detalhes-padrão, templates para Planos de Execução BIM, procedimentos de nomenclatura padrão para arquivos, vistas, níveis, pranchas e elementos BIM. Para estes últimos, em projetos complexos, é prevista a nomenclatura utilizando o sistema “quem-o que-onde” (*who-what-where*).

Além da autoridade portuária de Nova Iorque e Nova Jersey, a Puertos del Estado, autoridade responsável pela operação e manutenção dos portos do Governo da Espanha tem também publicados seus padrões (PDE, 2019). Nele, são feitas referências à série ISO19650 e à sua origem PAS 1192. Sua base está orientada ao uso aberto de BIM (OpenBIM), não discriminando qualquer tipo de software em específico, mas listando aqueles que podem ser utilizados para três finalidades: autoria de modelos (exemplo: para estruturas, prevê-se, além do Autodesk Revit, o Tekla Structures e o AllPlan), auditoria de modelos e ambientes comuns de dados. Além disso, são feitas referências a entregas em IFC. Em seu Anexo II, o guia traz um sistema de classificação de elementos baseado no guBIMClass, o qual, em seu item de estruturas, detalha um pouco mais os tipos de elementos portuários (Quadro 5). A entidade também detalha nomenclaturas para os arquivos, e apresenta os requisitos BIM para projeto. Neles, os principais objetivos BIM são: centralizar a informação, detalhamento em 3D, extração de documentos 2D, coordenação e gestão de interferências, extração de quantitativos, simulações construtivas, análises de alternativas e caminhadas virtuais. Também são estabelecidos LODs para as diferentes

disciplinas que, no geral, são 200 para o estudo preliminar e 300 para o projeto executivo. Além do LOD, são solicitados sets de propriedades não-geométricas em um item dedicado, chamado de Níveis de Informação (Level of Information – LOI) (Quadro 6).

Quadro 5: Exemplos de classificação de elementos de estruturas

| Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 | Nível 4 | Nível 5 | Descrição |
|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|
| PT. | 070. | | | | Estruturas |
| PT. | 070. | 040. | | | Pier de estacas |
| PT. | 070. | 040. | 010. | | Estacas cravadas |
| PT. | 070. | 040. | 010. | 010. | Por meio marítimo |
| PT. | 070. | 040. | 010. | 020. | Por meio terrestre |
| PT. | 070. | 040. | 020. | | Estaca pré-fabricada |
| PT. | 070. | 040. | 030. | | Camisa perdida |
| PT. | 070. | 040. | 050. | | Estacas de aço |

Fonte: Adaptado de PDE (2019)

Quadro 6: Exemplos de requisição de LOI

| Set de propriedades – Puertos del Estado | | |
|--|----------------|---|
| Identificação do parâmetro | Tipo | Valor possível |
| 01_PdE_Identificação | | |
| 01_01_PdE_Projeto | Texto | Código do projeto |
| 01_02_PdE_Localizador | Texto | Código de localização do elemento (zona) |
| 01_03_PdE_Estado | Texto | Existente, projeto básico, projeto executivo, obra |
| 01_04_PdE_Classificação | Texto | Código de classificação do elemento |
| 02_PdE_Quantidades | | |
| 02_01_PdE_Unidad | Unid. | Valor |
| 02_02_PdE_Longitude | M | Valor |
| 02_03_PdE_Espessura | M | Valor |
| 02_04_PdE_Area | M ² | Valor |
| 02_04_PdE_Volume | M ³ | Valor |
| 03_PdE_Projeto | | |
| 03_01_PdE_Fase Obra | Texto | Código da fase da obra à que o elemento se refere |
| 03_02_PdE_Planos | url | URL da localização das pranchas no CDE |
| 03_03_PdE_PPTP | url | URL da localização do edital no CDE |
| 03_04_01_PdE_Ud Medição 01 | Texto | Código da unidade da obra à qual o elemento faz parte |
| 03_04_02_PdE_Ud Medição 02 | Texto | Código da unidade da obra II à qual o elemento faz parte (se houver) |
| 03_04_03_PdE_Ud Medição 03 | Texto | Código da unidade da obra III à qual o elemento faz parte (se houver) |

Valdepeñas et al. (2020) demonstraram o uso do BIM para a gestão da manutenção de um porto em Madri, Espanha, ressaltando que o uso do BIM para projetos portuários ainda é escasso. Para tal, o projeto da construção foi modelado no Autodesk Revit 2019 e atualizado segundo informações coletadas na fase de as-built e parâmetros de manutenção para cada elemento, fornecendo uma base única de dados georreferenciados. Para tanto, as informações foram classificadas usando o sistema de classificação da Puertos del Estado, para os quais os autores propuseram melhorias no que diz respeito às patologias. Eles também citam, como principais vantagens do método, o trabalho colaborativo, a geração de informações para todas as fases do projeto, a compatibilidade se uma mudança for feita em uma parte do projeto sendo refletida em outras documentações, e a detecção fácil de erros. Como desvantagens, os autores citam a resistência à mudança, o custo de implementação e treinamento, problemas de interoperabilidade e a falta de um método consagrado para estruturas deste tipo. Como lições aprendidas, é destacado que o estudo de caso realizado foi feito a partir de um píer já construído, mas que o uso do BIM pode ser pensado desde as fases de planejamento e projeto para que sirva também a essa finalidade.

3.7. BIM e propostas

O processo de precificação para concorrência envolve basicamente três etapas: a) classificar os elementos da construção em categorias ou grupos; b) calcular as quantidades totais de cada item e c) calcular o preço de cada item (MA; LIU, 2014). Todo esse processo é bastante crítico na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), mas como o processo tradicional envolve a representação do projeto em duas dimensões, os orçamentistas continuam tendo que extrair manualmente as informações, tarefa essa sujeita a erros e que demanda esforço, dada a complexidade dos serviços e eventuais desvios ocorridos pela interpretação do projeto (MA; WEI; ZHANG, 2013).

O tratamento estruturado da informação proveniente do uso do BIM na fase de concepção do projeto pode apresentar os seguintes benefícios: evitar a perda de informação durante o desenvolvimento do projeto, garantir a entrega segundo os

requisitos do cliente na fase de pré-projeto e antecipar o impacto das decisões do cliente na performance operacional (RODRIGUEZ-TREJO et al., 2017).

Assim, a adoção do BIM em licitações pode aumentar a competitividade dos concorrentes, reduzindo os tempos e custos do processo, e antecipando dificuldades da construção, detectando-as de maneira oportuna e propiciando, portanto, a resolução antecipada de problemas (DOUMBOUYA et al., 2017).

Levantamento de quantidades

As soluções recentes para o uso do BIM nas etapas de estimativa de custos e a extração de quantidades partem do princípio de que o modelo foi gerado segundo os requisitos necessários para permitir a geração correta dos dois produtos (ARAM; EASTMAN; SACKS, 2014; MA; LIU, 2014; OLATUNJI; SHER, 2014).

O caráter artesanal e passível de erros no levantamento de quantidades e estimativa de custos também é mencionado por Aram, Eastman e Sacks (2014). Os autores afirmam que, mesmo que os modelos BIM tenham sido concebidos da maneira correta em termos de projeto, três fatores ainda permanecem como entraves para o uso de softwares na extração de quantidades a partir de modelos BIM: i) A informação contida nos modelos elaborados pelos projetistas e pelos construtores difere não somente em sua categoria, mas também na forma como são representadas, gerando retrabalho e recriação de modelos segundo a necessidade da parte em questão; ii) nem todos os componentes orçados são dependentes somente de sua quantidade (exemplo: a forma de um componente pode afetar sobremaneira seus custos); e iii) o projeto completo e detalhado (portanto contendo todas as informações necessárias para orçamentação) é elaborado tardiamente no processo, usualmente na fase de fabricação e produção dos componentes. Ainda segundo os autores, os especialistas geralmente confiam em seus próprios julgamentos e regras empíricas baseadas em informações históricas e que, quando em situações incomuns, procuram especialistas em projetos estruturais, gerentes de plantas, construtores e outros, caso a caso. Em seu estudo, os autores propuseram a estrutura de um sistema baseado em conhecimento para possibilitar a extração de quantidades e estimativas de custo a partir do modelo, como é mostrado na Figura 4:

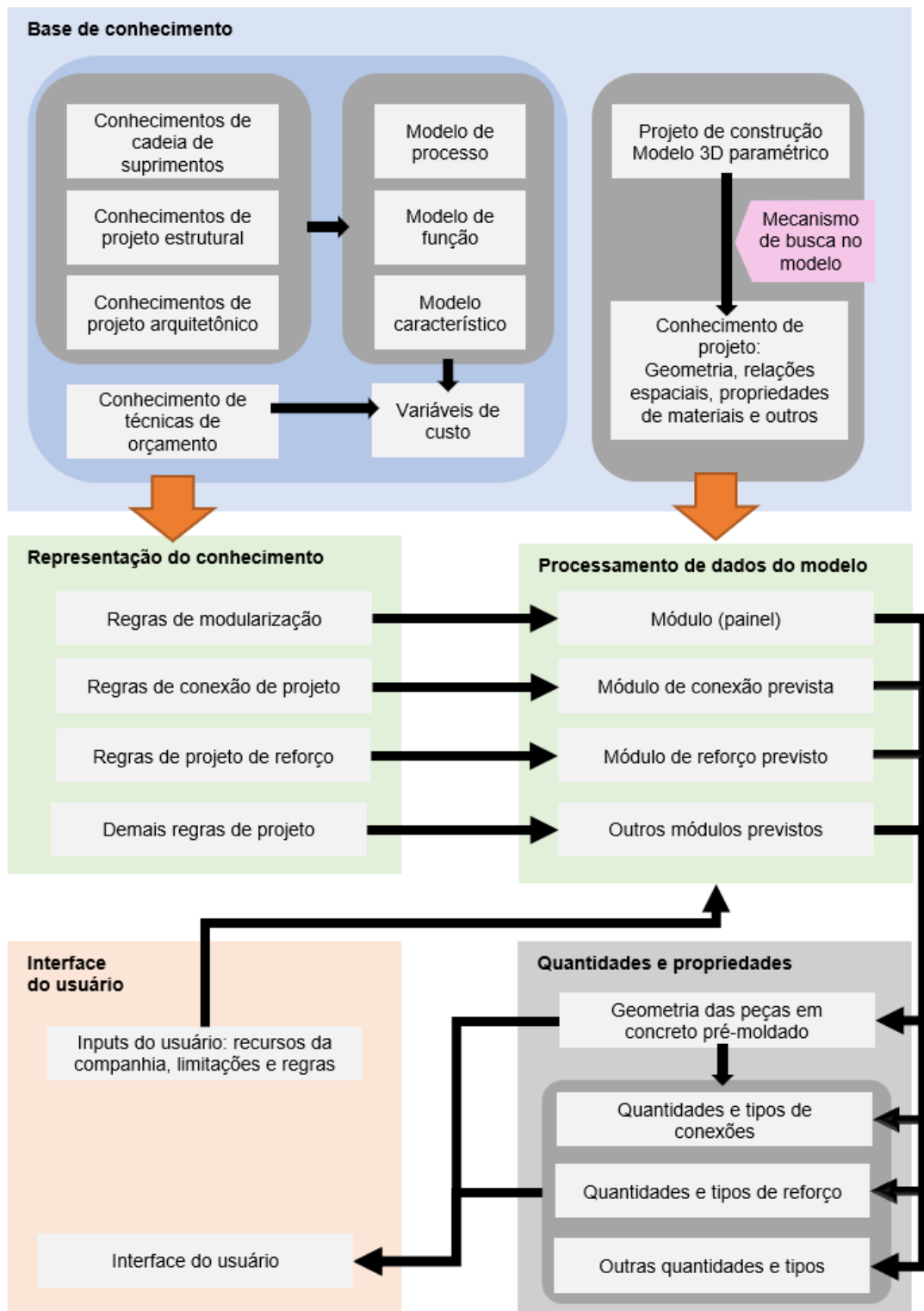


Figura 4: Estrutura de um sistema de conhecimento
 Fonte: Adaptado de ARAM; EASTMAN; SACKS (2014)

Mohsenijam e Lu (2016) também procuraram formas de tangibilizar de forma mais automática inclusive os aspectos qualitativos do projeto, gerando maior competitividade para a empresa (de estruturas metálicas, no caso). Os autores

afirmam que, uma vez que a fabricação de estruturas metálicas é altamente dependente de mão de obra, estimar o custo das horas trabalhadas na etapa de fabricação ainda durante a fase de projeto pode ser crucial na determinação dos custos finais do projeto. Ao utilizar um modelo de regressão que aponta para bancos de dados históricos, e aliando-os a modelos BIM, seria possível dar aos projetistas a capacidade de comparar diferentes alternativas de projeto em termos de custos.

Taboada e Garrido-Lecca (2014), em seu estudo sobre a aplicação do BIM na etapa de propostas, mencionam que, para a integração entre o modelo e a extração de quantidades, são necessários: a criação de *templates* para cada disciplina a ser quantificada/estimada, estabelecimento de regras para nomenclatura, parâmetros a serem preenchidos no modelo BIM, respeitar as regras de modelagem, realizar a checagem da qualidade do modelo, para finalmente extrair as quantidades.

Integração do modelo a bancos de dados externos

A metodologia também pode ser usada integrando-se múltiplas bases de dados de orçamento, de forma a simplificar o processo de estimativa de custos. Em seu estudo, Al-Mashta e Alkass (2010) realizaram essa integração do modelo BIM a bancos de dados relacionais, sendo capazes de mostrar os resultados em diferentes estruturas analíticas de projeto (EAPs), permitindo sua aplicação na fase de propostas e de execução da obra.

Comunicação: transferências de dados entre homem-homem, homem-máquina e máquina-máquina

Outro aspecto bastante sensível na elaboração de propostas concerne a comunicação entre as partes interessadas. Durante o ciclo de vida de um projeto, equipes de projeto e de obra interagem frequentemente com uma grande variedade de subcontratados por períodos determinados. Na etapa de propostas, diversos subcontratados e equipes externas à construtora são contatados para cotarem seus serviços. Para que essa comunicação seja feita de forma efetiva, as informações a respeito do projeto são comumente reescritas para facilitar o entendimento dos subcontratados, tarefa essa usualmente manual e sujeita a erros (COLLINS; GENTRY, 2017).

Ligado a esse aspecto de transferência de dados e conhecimento entre as diferentes partes interessadas, define-se o conceito de interoperabilidade: habilidade de troca de dados entre softwares, que suaviza os fluxos de trabalho e normalmente facilita sua automação. Minimamente, a interoperabilidade elimina a necessidade de copiar manualmente os dados gerados anteriormente em outros softwares (EASTMAN et al., 2011). O formato IFC (*Industry Foundation Classes*) “foi desenvolvido para criar um grande conjunto de representações de dados consistentes de informações da construção para intercâmbio entre aplicações de software de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC)” (EASTMAN et al., 2014).

Quando se trata de troca de informações entre computadores, é imprescindível garantir que o software receptor consiga decodificar as informações criadas pelo software emissor. O arquivo de extensão .ifc “é um formato neutro de arquivo de dados importante para descrever, trocar e compartilhar informações tipicamente utilizadas na indústria da construção civil e também no setor de gerenciamento de ativos (e de manutenção) (CBIC, 2016).

A origem do IFC remete aos idos de 1990, a partir de um consórcio de doze empresas chamado Industry Alliance for Interoperability, posteriormente chamado de International Alliance for Interoperability, e hoje chamado de buildingSMART, que conta com a participação de 19 países (EASTMAN et al., 2011).

O padrão IFC foi normalizado pela primeira vez através da ISO 16739:2005 (IFC2x3 TC1), que foi revisada em 2013 (IFC4) e em 2018 (Addendum 2 TC1) (buildingSMART, 2020). A mais nova versão (IFC 4.3) já está publicada pela buildingSMART e em vias de publicação como norma ISO. O IFC é reconhecido por sua capacidade de incluir, além dos objetos que fazem parte de uma edificação, objetos de processos para a representação de atividades usadas para construir um edifício (EASTMAN et al., 2011).

No tocante à infraestrutura, versões mais recentes vêm sendo desenvolvidas para incorporar os conceitos específicos deste mercado. Assim, desde a versão 4.1 tem sido disponibilizada a base para as extensões de ferrovias, rodovias, túneis e portos (com a publicação do *IfcAlignment*), que estão sendo

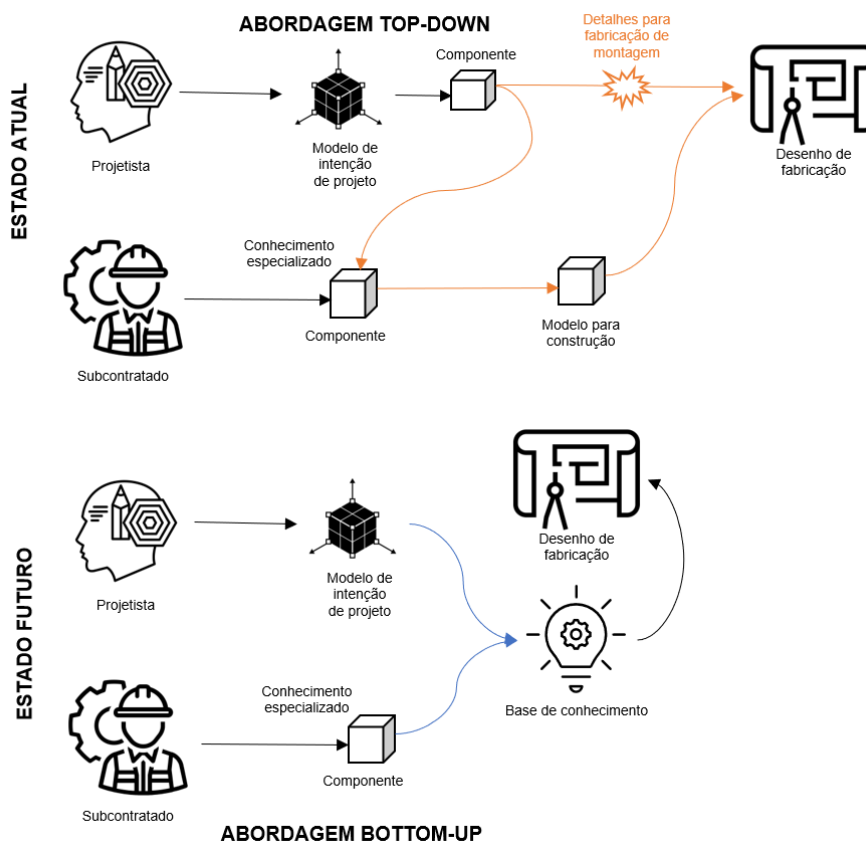
desenvolvidas pela buildingSMART, e a versão 4.3 já incorpora descrições de estruturas de pontes (*IfcBridge* e *IfcBridgePart* são exemplos) (buildingSMART, 2020).

O uso do IFC se mostra adequado para as etapas iniciais do ciclo de vida dos empreendimentos. No entanto, ainda existe a necessidade de detalhar extensões em forma de elementos genéricos (*proxy elements*) e conjuntos de propriedades (*properties sets*) (ZHILIANG et al., 2011). Em seu estudo, Ma, Wei, Zhang (2013) também utilizaram o padrão IFC para extração semiautomática dos custos na fase de orçamentação de obras, em conformidade com os padrões chineses de classificação (GB50500, publicados em 2003 e revisados em 2008) de produtos da construção civil. Segundo os autores, quando se empregam computadores em substituição às pessoas na realização de estimativa de custos de projetos segundo especificações e padrões pré-definidos, é necessário que se faça a tradução dessas especificações para formatos interpretáveis pela máquina.

Antecipação de informações

Além da importância da definição de padrões e sistemas de classificação na automação de tarefas da etapa de orçamentação, uma vez que os elementos do projeto não passam por interpretação humana, é importante garantir a acurácia do projeto que será então interpretado pelos computadores. Collins e Gentry (2017) mencionam que frequentemente o projetista pode desconhecer detalhes envolvidos nas etapas de fabricação e montagem dos componentes do edifício. Através do desenvolvimento de uma base de conhecimento, foi possível, em fases iniciais do projeto, unir as informações importantes e providas pelos projetistas com aquelas requeridas pelos subcontratados para a produção dos componentes arquitetônicos corretos.

Figura 5: Unificação das informações entre projetistas e subcontratados



Fonte: Adaptado de Collins e Gentry (2017)

No caso, utilizou-se como exemplo a fabricação de peças arquitetônicas pré-moldadas em concreto, que posteriormente foram parametrizadas para incluir aberturas, frisos e embutidos.

Uma outra forma de integrar a informação dos componentes de edifícios na etapa de projeto é sugerida por Berard e Karlshoej (2012). Os autores estudaram o uso do IDM (*Information Delivery Manual*) como forma de desenvolver sistemas de informação que apoiem a colaboração digital, fluxos de trabalho e trocas de informação. Foi identificado que o processo do IDM envolve considerável esforço, tornando-se uma tarefa dispendiosa em termos de tempo, sendo essas suas principais desvantagens. No entanto, os autores recomendam sua aplicação como base para compilação de requisitos para o desenvolvimento de objetos BIM.

Checagem de modelos

Um dos usos importantes do BIM reside na automatização da verificação de regras para assegurar que o projeto esteja em conformidade com os requisitos. Apesar de a adoção do BIM na etapa de propostas ainda ser incipiente, hoje existem ferramentas de checagem dos modelos que podem ser bastante úteis no apoio aos orçamentistas, principalmente para a verificação do atendimento do projeto aos requisitos do cliente (CIRIBINI; BOLPAGNI; OLIVERI, 2015). Para tanto, os autores ressaltam a importância de se ter diretrizes de modelagem claras, de forma a possibilitar verificação adequada do modelo BIM.

Conforme mencionado na justificativa desta pesquisa, o modelo tradicional utilizado para contratação de infraestrutura no mercado brasileiro é o design-bid-build (projeto-concorrência-construção). Apesar das dificuldades impostas por esse tipo de contrato, a aplicação do uso de BIM nesses casos tem o potencial de reduzir os erros de projeto durante o processo de engenharia de valor (*value engineering*), ainda que menores do que os potencialmente obtidos em contratos do tipo IPD (*Integrated Project Delivery*), onde existem incentivos também para os subcontratados caso haja reduções nos custos (JANG et al., 2019).

3.8. BIM e riscos

Conceituação e estado atual do gerenciamento de riscos

De acordo com a NBR/ISO 31000, “risco” é o efeito da incerteza nos objetivos, sendo esse efeito positivo ou negativo (ABNT, 2009). Já “incerteza” é o “estado, mesmo que parcial, da deficiência de informações relacionadas a um evento, sua compreensão, seu conhecimento, sua consequência ou sua probabilidade (ABNT³, 2009).

Entende-se como gerenciamento de riscos corporativos o processo aplicado em uma organização para identificar os eventos que podem afetá-la, e administrar os riscos a eles relativos, possibilitando que a empresa cumpra seus objetivos (COSO, 2007).

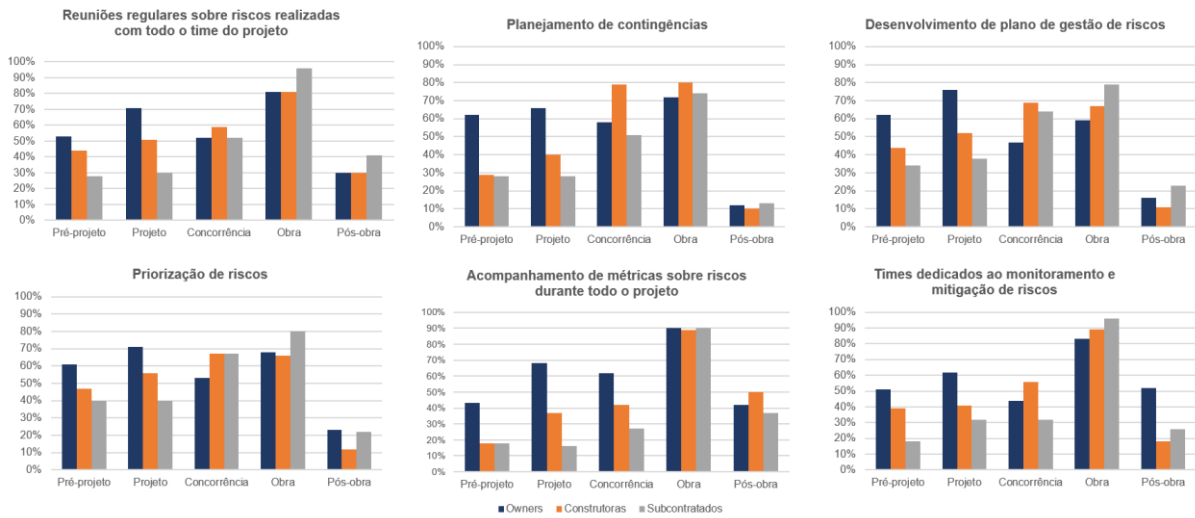
Quando se inicia um projeto, não se tem certeza qual será o seu custo. Essa incerteza se inicia alta e tende a reduzir à medida em que o negócio se desenvolve, o projeto se define, os subcontratados são selecionados e, por fim, o projeto é construído. A análise de risco auxilia no rastreamento da incerteza

durante todos os estágios do ciclo de vida, providenciando uma variedade de valores possíveis de custo (INSTITUTE OF RISK MANAGEMENT, 2013).

Zou, Kiviniemi e Jones (2015) defendem que falhar na identificação precoce dos riscos potenciais de um projeto pode levar a riscos ainda mais significativos em fases posteriores. Uma vez que os projetos de construção civil têm diversas fases onde partes diferentes interagem e frequentemente deixam o processo imediatamente após a conclusão de suas tarefas, riscos que não forem identificados podem causar um efeito cascata, aumentando assim os perigos e ameaças à performance do empreendimento. Assim, ressalta-se a importância do gerenciamento de riscos desde a concepção dos projetos de construção civil.

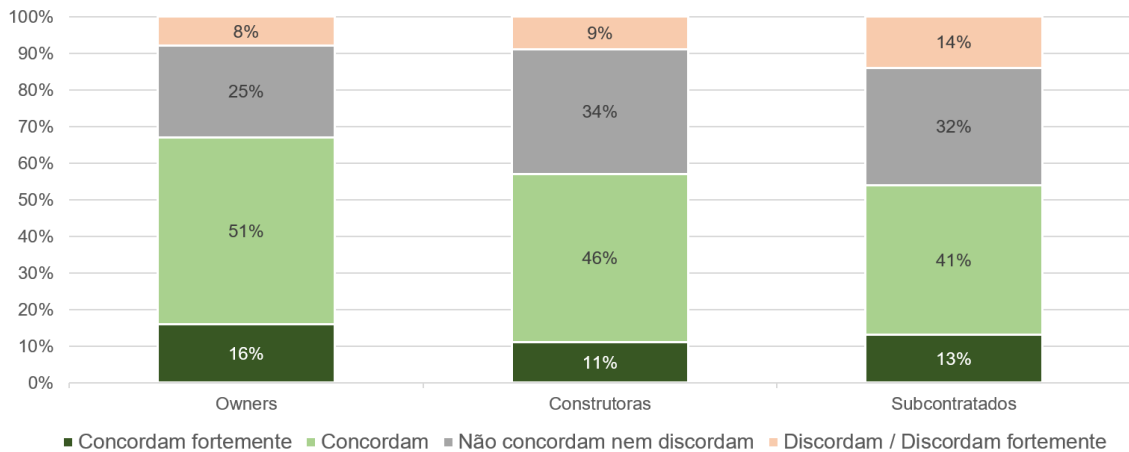
Um relatório do Dodge Data & Analytics mostra que 77% das construtoras adotam valores contingenciais em seus processos de orçamentação ou negociação, sendo esta prática majoritariamente realizada nas fases de orçamentação e de construção (70 a 80%), conforme Gráfico 1. Esse fato sugere que as construtoras normalmente consideram o gerenciamento ativo de riscos após o início da fase de construção, o que pode estar relacionado ao seu maior envolvimento a partir dessa fase (e não anteriormente, nas fases de concepção ou desenvolvimento do projeto, por exemplo). O relatório também aponta que 57% das construtoras concordam que o uso do BIM reduz o risco em seus projetos (com destaque para as empresas com receita anual acima dos 500 milhões de dólares, das quais 68% apontam concordar com a afirmação), conforme Gráfico 2. Segundo o relatório, 57% dos respondentes afirmam que a estratégia mais efetiva para a mitigação de riscos é a realização de reuniões sobre esse tema com o time completo do projeto, refletindo a importância das abordagens com viés colaborativo, dos quais 91% das construtoras concordam que a colaboração em si auxilia na redução dos riscos. As construtoras entrevistadas apontaram que os três maiores benefícios da realização desse tipo de reunião são: maior confiabilidade na performance do projeto (47%), melhorar a segurança (38%) e o cronograma do projeto (35%).

Gráfico 1: Fases do ciclo de vida onde são utilizadas estratégias de mitigação de riscos



Fonte: Adaptado de DODGE DATA & ANALYTICS (2017)

Gráfico 2: Impacto do uso do BIM nos riscos do projeto



Fonte: Adaptado de DODGE DATA & ANALYTICS (2017)

Com o mesmo viés, Chang (2016) menciona que o foco do gerenciamento de riscos parece estar mais direcionado ao estabelecimento de contingências para custos não previstos do que realmente para o gerenciamento ativo dos riscos em si. Segundo estudo do Institute of Risk Management (2013), em termos gerais, o viés otimista pode ser frequente na orçamentação de projetos, se materializando em forma de contingências, as quais são gastas mesmo em situações em que não são necessárias.

Influência do BIM no gerenciamento de riscos

São diversos os estudos que mencionam a influência do BIM no gerenciamento de riscos de um projeto, seja mitigando os riscos existentes ou até mesmo criando novos riscos anteriormente não previstos (TOMEK; MATEJKA, 2014, GANBAT et al., 2018, AHMAD; THAHEEM; MAQSOOM, 2018).

Os mais relevantes exemplos de riscos que podem ser mitigados pelo uso do BIM referem-se principalmente a melhores visualização e coordenação do projeto, elaboração de soluções técnicas livres de interferências (conhecidas como *clashes*), e melhor gestão através de seu viés mais colaborativo (AHMAD; THAHEEM; MAQSOOM, 2018). Zou, Kiviniemi e Jones, (2017) ainda apontam que, para fases iniciais dos projetos, os principais riscos envolvem a garantia da exequibilidade do empreendimento, segurança orçamentária e regime de governança. Para todos esses riscos, o BIM apresenta potencial de mitigação, seja pela visualização do modelo em 3D ou 4D (de forma a adequar o projeto aos requisitos), melhorando o entendimento através dos “passeios” pelo projeto, seja permitindo o uso repetitivo de dados através do uso de formatos e padrões neutros, reduzindo a incidência de erros.

O BIM é frequentemente citado para o estudo dos riscos de planejamento, resultando em melhores e mais exequíveis cronogramas de projeto (CHANG; YU; CHENG, 2017) ou em menor tempo gasto para análise de atrasos nos cronogramas em casos de pleitos (CHOU; YANG, 2017). Usualmente, a duração de atividades é feita dividindo-se a quantidade dos serviços a serem executados pela produtividade prevista para cada um deles. Essa abordagem não somente dificulta o trabalho de engenheiros com menos experiência, mas também não permite a avaliação de fatores de riscos dinâmicos, gerando um resultado impreciso e ineficaz (CHANG; YU; CHENG, 2017).

Zou, Kiviniemi e Jones (2017), através de revisão da literatura, em seu estudo, mostraram que o BIM pode ser utilizado como suporte ao desenvolvimento de projeto não somente como ferramenta para gestão sistemática dos riscos, mas também como plataforma geradora de dados, permitindo a aplicação de outras ferramentas relacionadas para realizar análises de risco mais detalhadas dos projetos. No estudo, os autores fazem distinção entre tecnologias proativas e

reativas, necessitando estas de processamento pós-coleta dos dados, enquanto aquelas coletam e analisam os dados em tempo real, possibilitando alertas e feedback imediato. Nesta mesma problemática, Sun, Man, Wang (2015), Chang, Yu, Cheng (2017), Le, Hsiung, (2014) e PENG et al., (2017) desenvolveram sistemas para que o modelo BIM fosse base para uma gestão automatizada de riscos.

Outro conceito abordado se refere ao uso do BIM em conjunto com Estruturas Analíticas de Risco (RBS, Risk Breakdown Structures). Ao integrar as duas metodologias, concluiu-se que a RBS permite o armazenamento estruturado dos dados, para que sejam utilizados e comunicados de forma eficiente, enquanto as funcionalidades do BIM como a visualização 3D e o planejamento 4D podem facilitar a identificação de riscos, sua análise e comunicação nas fases iniciais do projeto (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2016).

Entraves para a implantação do BIM para riscos

Em seu estudo, Tomek e Matejka (2014) mencionam que o fato de o cliente não requisitar o uso do BIM torna difícil para as empresas da indústria da construção civil encontrar argumentos para implementar a metodologia. Os autores mencionam, no entanto, que a implantação superaria todos os obstáculos encontrados no processo e que traria benefícios para diversos stakeholders envolvidos. Para construtoras, o maior deles se referiria à redução dos riscos ao longo do tempo, sendo o modelo BIM detalhado uma ferramenta para a mitigação ou assunção de riscos e redução de contingências. Além disso, não se restringindo ao papel dos *stakeholders*, o BIM pode melhorar a comunicação e influenciar na gestão de riscos ambientais dos projetos.

É relevante mencionar que a própria adoção do BIM pode criar novos riscos. Esses riscos envolvem a segurança dos dados, novos padrões e softwares, novas formas de contratação (e legislação correspondente) e gestão, além da necessidade de revisão das competências e habilidades dos envolvidos (GANBAT et al., 2018; CHIEN; WU; HUANG, 2014).

3.9. BIM e planejamento

Estado atual e desafios do planejamento de obras

O planejamento da construção é usualmente limitado à documentação de um cronograma final de construção, e alternativas que poderiam ser consideradas durante o processo de planejamento não são incluídas no cronograma final (TAUSCHER et al., 2014). Este cronograma final de execução, é baseado, primeiramente, em informações estáticas, conhecimento tácito, normas, políticas empresariais e desenhos 2D. Como resultado, informações específicas e dinâmicas relacionadas ao local da obra, informações temporais (quando e quem será exposto a riscos) e espaciais (localização de zonas perigosas) não são endereçadas de forma específica (CHOE; LEITE, 2017). Neste processo, os planejadores conectam mentalmente os desenhos 2D e o cronograma de execução para gerar múltiplos tipos de requisitos de espaços, o que resulta em uma tarefa bastante complexa (BANSAL, 2011). A dificuldade em se considerar os aspectos espaciais na execução das tarefas previstas também é mencionada por Choi et al. (2014), que reiteram que as práticas correntes de planejamento se mostram insuficientes para o planejamento de áreas de trabalho, uma vez que não consideram o caráter espacial de cada uma das atividades. Shang e Shen (2016) complementam pontuando o risco de colisões de objetos em campo, dadas as limitações significativas do processo tradicional baseado em plantas 2D em endereçar a natureza dinâmica. As práticas correntes de elaboração de layouts de canteiro se baseiam fortemente em desenhos 2D e experiências passadas *ad hoc*, que têm baixa capacidade de detectar, demonstrar e analisar dinamicamente as interferências nas áreas do canteiro de obras. Assim, o planejamento tradicional, ao não considerar os aspectos espaciais e de localização da obra, coloca em risco a exequibilidade do plano de execução proposto, bem como de suas estratégias de implantação (BANSAL, 2018).

Moon et al. (2014) ainda afirmam que quando há interferências em áreas de trabalho (por exemplo: equipes concorrentes utilizando o mesmo espaço), não somente a construtibilidade pode deteriorar pelo risco crescente de colisão entre os recursos, mas também garantir a segurança e performance das atividades se torna tarefa difícil.

Com relação ao uso de equipamentos em obras, guindastes são equipamentos de construção corriqueiramente utilizados e o custo de sua utilização costuma

ser bastante representativo. O processo de planejamento para estes equipamentos se inicia em estágios iniciais dos projetos de construção, e uma seleção inadequada pode incidir em custos extras ao projeto, ou causar atrasos na sua duração (MARZOUK; ABUBAKR, 2016). A revisão dos planos de uso de guias e guindastes na fase de pré-construção é um processo iterativo que necessita abordagens que melhorem sua eficiência e efetividade (JI; LEITE, 2018).

4D no canteiro de obras

As ferramentas comercialmente disponíveis para planejamento (como o Oracle Primavera e o Microsoft Project) fornecem um cronograma de execução das tarefas de construção. No entanto, as atividades não têm link direto com os componentes correspondentes dos modelos 3D ou desenhos em duas dimensões. Assim, os pesquisadores sugerem o uso do planejamento 4D de forma a criar a simulação gráfica do processo construtivo através de links entre o cronograma de execução e o modelo 3D do ativo a ser construído. Apesar de a modelagem 4D e das ferramentas BIM permitirem aos planejadores gerar uma simulação gráfica da sequência de execução, elas ainda apresentam limitações como: geração e atualização dos cronogramas, edição dos componentes 3D, modelagem do terreno e análises geoespaciais em uma única plataforma (BANSAL; PAL, 2011).

Quanto ao gerenciamento do canteiro de obras, onde o uso do 4D apresenta potencial para industrialização da construção, Bataglin et al. (2017) pontuam que se faz necessária sincronização precisa dos processos de projeto, fabricação e montagem. Considerando a alta quantidade de incertezas e interdependências entre esses processos nos canteiros de obra, é importante considerar o estado do canteiro no processo de planejamento e controle. Entender as demandas do local de montagem em termos de seus componentes é um passo chave para integrar fabricação e montagem.

Além do planejamento das tarefas, o planejamento do layout de materiais é crucial em projetos de canteiros de obra. Ao alocar materiais sem a efetiva consolidação de recursos e sem o devido planejamento antecipado, gerentes de construção podem encontrar dificuldades em determinar de forma abrangente a

demanda para otimização de recursos, de forma a otimizar o layout do canteiro. Essa prática também resulta em menor eficiência, maiores custos e perdas desnecessárias de tempo (CHENG; CHANG, 2019).

A implementação da prevenção através do projeto (PtD, *Prevention Through Design*) é geralmente discreta porque os projetistas desconhecem os conceitos de segurança da construção e de seus processos construtivos, além de serem escassos os procedimentos e ferramentas de projeto voltados à segurança hoje disponíveis (CASTRONOVO et al., 2014).

Benefícios do uso do planejamento 4D

Segundo o estudo de Candelario-Garrido; García-Sanz-Calcedo; Reyes Rodríguez (2017), a integração do BIM ao planejamento de execução do projeto garante maior controle do modelo, prevenindo assim ineficiências de tempo e custo durante o desenvolvimento do projeto. Apesar de o método tradicional de planejamento ser 20% mais rápido que o planejamento 4D, os autores observaram que o uso da metodologia 4D é 40% mais eficiente no tocante ao monitoramento visual do progresso do tempo e outros 40% mais eficiente no processo de atualização dos dados. No estudo de Zulu (2019), os maiores benefícios percebidos pelo uso do 4D foram a adição de valor pela visualização e a melhor comunicação das saídas do projeto, que tiveram efeitos positivos no gerenciamento de saúde e segurança, incluindo questões de planejamento e logística.

Em seu estudo, Rolfsen e Merschbrock (2016) advogam que o uso do BIM 4D promove a divulgação do planejamento de forma macro, e é percebido como mais adequado para uso em estágio iniciais do projeto.

Facilitada pela extração de quantidades através do modelo BIM, a simulação da operação é capaz de considerar durações incertas das tarefas que, por sua vez, permite levar em conta as necessidades concorrentes de recursos entre diferentes tarefas e ainda avaliar diferentes alocações de recursos de forma a criar um cronograma factível de construção (WANG et al., 2014).

Desafios para adoção do planejamento 4D

De acordo com estudo de Torres-Calderon et al. (2019), até aquela data, somente 35 a 40% das grandes empresas dos Estados Unidos adotaram o planejamento 4D, e somente em uma pequena fração de seus projetos. Segundo entrevistas feitas pelos autores com centenas de equipes de projeto, existe a percepção de que a dificuldade de buscar os objetos no modelo BIM e fazer a ligação entre eles e as tarefas do cronograma supera os benefícios trazidos pelo uso do 4D. Além disso, manter a simulação atualizada é também apontada como um desafio, tarefa essa costumeiramente terceirizada. Enquanto o valor associado ao uso do planejamento 4D durante a fase de construção está bastante bem documentado, o nível de esforço requerido para criá-lo tem impactado a percepção do retorno sobre investimento (ROI), limitando assim a sua adoção. Yun et al. (2014) ressaltam que o uso da metodologia BIM traz obstáculos referentes à eficiência da produção dos dados, uma vez que o dado pode ser utilizado somente para animação e apresentação visual. Além disso, apesar de inúmeros sistemas de simulação construtiva terem sido desenvolvidos, eles apresentam dificuldades em termos de performance.

Haiati; Von Heyl; Schmalz (2016) também evidenciam que o processo de entrada de dados ainda consome tempo, por vezes tornando o emprego da técnica inviável em termos de custo, tendo como consequência a não adoção da prática em sua plenitude. Os autores ressaltam ainda a importância de se simplificar o processo de simulação 4D para que ele seja integrado de forma mais ampla às rotinas de trabalho das equipes.

Castronovo et al. (2014) ainda sugerem que a falta de padrões acordados (comum na disseminação de tecnologias novas) para a representação de elementos construídos e tarefas a eles relacionadas é um dos desafios inerentes ao uso de ferramentas de modelagem 4D. Essa visão é compartilhada por Boton, Kubicki e Halin (2013), que mencionam ser bastante desafiador escolher e propor técnicas de visualização adaptadas de acordo com as práticas da indústria de AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), levando também em conta as características do setor.

A literatura disponível no tocante ao 4D não fornece recomendações sobre quais informações deveriam ser consideradas com padrão para desenvolver uma simulação 4D. Em seu estudo, De Vargas; Bataglin; Formoso, (2018)

propuseram um guia de diretrizes para apoiar o planejamento e controle da produção com ênfase em princípios e conceitos de Lean Construction. Scheer et al. (2014) também chegaram à conclusão de que o uso de modelagens 4D e 5D pode auxiliar também na adoção de princípios de Lean Construction na construção.

No entanto, há pouco conhecimento disponível em como as ferramentas de planejamento 4D podem ser melhor utilizadas durante a fase de aquisições e compras para apoiar o desenvolvimento de estratégias efetivas de mitigação de riscos (SLOOT; HEUTINK; VOORDIJK, 2019).

Crowther e Ajayi (2019) salientam dificuldades relativas a aspectos culturais do ambiente onde o 4D será implantado, destacando-se: falta de responsabilidade compartilhada além do planejador e do coordenador BIM, falta considerável de entendimento e treinamento em 4D e a complexidade de realizar o processo de forma efetiva.

O conhecimento da revisão bibliográfica pôde ser agrupado segundo as seguintes classes de problemas quanto à aplicação do BIM para a elaboração de propostas técnicas de projetos de infraestrutura: levantamento de quantidades e estimativas de custos, gestão inadequada dos riscos, exequibilidade e acurácia do planejamento proposto, conforme Quadro 7:

Quadro 7: Resumo dos principais artefatos por classe de problema na fase de propostas

| Classe de problema | Artefato sugerido | Desempenho observado |
|---|--|--|
| Levantamento de quantidades e estimativas de custos | <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas baseados em conhecimento • Regressão apontada para banco de dados históricos • Padronização por templates e regras • Integração a bancos de dados externos • Uso de IFC e sistemas de classificação • Uso do IDM • Checagem de regras para avaliação do | <ul style="list-style-type: none"> • Menor interferência humana na geração dos dados • Maior acurácia nos dados obtidos • Visualização dos dados em estruturas diferenciadas • Facilitação da comunicação (homem-homem; homem-máquina e máquina-máquina) • Antecipação das informações / estimativas de custo durante a etapa de projeto • Dificuldade de estimar aspectos qualitativos do projeto |

| | atendimento às diretrizes | Quantidade de horas empregadas para uso do IDM |
|---|---|--|
| Gestão inadequada de riscos | <ul style="list-style-type: none"> • Visualização e “passeios” pelo modelo • Realização de <i>clash detection</i> • Uso de RBS (Risk Breakdown Structures) • Uso de planejamento 4D • Modelo BIM como plataforma geradora de dados | <ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de horas empregadas para uso do IDM • Melhor identificação dos riscos, inclusive dinâmicos • Melhor entendimento do projeto • Maior exequibilidade do projeto • Melhores cronogramas de projeto • Armazenamento estruturado dos dados • Gestão de riscos mais automatizada • Melhor comunicação entre os <i>stakeholders</i> |
| Exequibilidade e acurácia do planejamento | <ul style="list-style-type: none"> • Uso de planejamento 4D | <ul style="list-style-type: none"> • Melhor entendimento do planejamento (comunicação) • Detecção de erros e oportunidades no cronograma • Simulação do canteiro de obras (logística) • Maior integração com os projetistas • Menores perdas decorrentes de processos potencialmente inexecutáveis • Maior consumo de tempo do que o planejamento tradicional • Maior potencial para aplicações de conceitos de Lean Construction • Necessidade de automação da atualização e geração das simulações • Falta de padrões para representação dos elementos e das tarefas • Falta de compartilhamento das responsabilidades |

Fonte: Autora

4. IDENTIFICAÇÃO E PROPOSIÇÃO DO ARTEFATO

4.1. O processo de desenvolvimento de propostas de obras portuárias

No caso da empresa estudada, é usado um sistema de classificação para os orçamentos, de forma a nivelar as expectativas das partes interessadas. O sistema foi adaptado do Sistema de Classificação para Estimativa de Custos (AACE, 2011), prática recomendada pela Association for the Advancement of Cost Engineering, que tem como um de seus objetivos mapear as fases e estágios da orçamentação de projetos, aliados a uma matriz de maturidade e qualidade, melhorando a comunicação e alinhamento entre os stakeholders envolvidos na preparação avaliação e uso das estimativas de custos.

Na empresa objeto do estudo deste trabalho, o sistema foi adaptado para as práticas de elaboração de propostas, culminando com a matriz da Figura 6 abaixo:

| | | Executivo | Básico | | Conceitual | |
|-----------------------|----------------|---|---|--|--|---|
| | | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
| Outputs dos processos | Engenharia | <ul style="list-style-type: none"> • Metodologia 100% EAP • Levantamento de quantidades curvas A e B • Dimensionamento dos caminhos de serviço | <ul style="list-style-type: none"> • Metodologia desenvolvida para curvas A e B • Levantamento de quantidades curva A e B | <ul style="list-style-type: none"> • Metodologia desenvolvida para curva A • Levantamento de quantidades curva A | <ul style="list-style-type: none"> • Estimativas das principais quantidades | <ul style="list-style-type: none"> • Parametização por unidade |
| | Planejamento | <ul style="list-style-type: none"> • Cronograma gerencial 100% EAP • Cronograma Takt caminho crítico / curva A | <ul style="list-style-type: none"> • Cronograma gerencial curvas A e B • Cronograma Takt caminho crítico / curva A | <ul style="list-style-type: none"> • Cronograma gerencial curva A | <ul style="list-style-type: none"> • Cronograma de execução macro da obra | <ul style="list-style-type: none"> • Parametização por unidade |
| | Custo direto | <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar e estudar CPUs curvas A e B • Ter cotações das curvas A e B | <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar e estudar CPUs curvas A e B • Ter cotações das curvas A e B | <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar e estudar CPUs curva A • Ter cotações das curva A | <ul style="list-style-type: none"> • Custo de referência em planilha | <ul style="list-style-type: none"> • Parametização por unidade |
| | Custo indireto | <ul style="list-style-type: none"> • Custos com análise de particularidades do local / cliente com áreas de apoio | <ul style="list-style-type: none"> • Custos com análise de particularidades do local / cliente com áreas de apoio | <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamento da mão de obra e custos diversos de forma expedita | <ul style="list-style-type: none"> • Custo de referência em planilha | <ul style="list-style-type: none"> • Parametização por unidade |
| | Processo | <ul style="list-style-type: none"> • Standard full | <ul style="list-style-type: none"> • Standard full | <ul style="list-style-type: none"> • Standard simplificado | <ul style="list-style-type: none"> • Standard simplificado | <ul style="list-style-type: none"> • - |

Figura 6: Adaptação do sistema de classificação de propostas

Fonte: Adaptado de Ferrari et al. (2017)

O ciclo de vida dos empreendimentos realizados pela empresa (independentemente de sua classificação) está dividido em 10 fases (Figura 7), a saber:

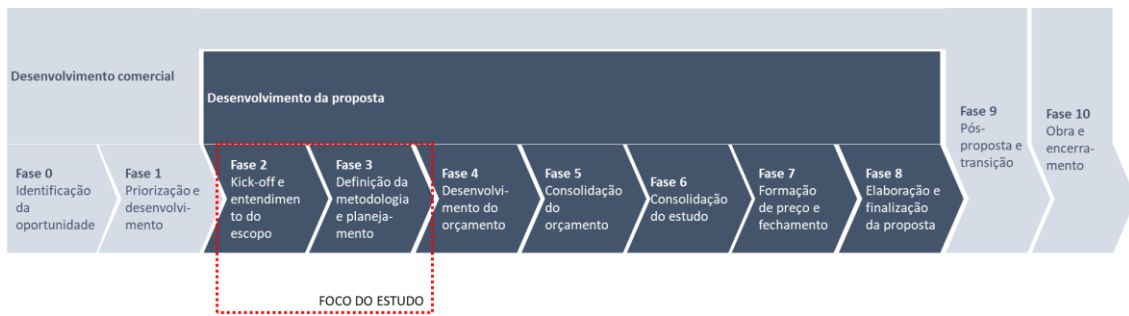


Figura 7: Etapas da elaboração de propostas técnico-comerciais
 Fonte: Adaptado de Ferrari et al. (2017)

Fase 0: Identificação de oportunidades: Esta fase é predominantemente realizada pela área de Desenvolvimento de Clientes e Negócios. Nela, são estudados os potenciais mercados, prospectando clientes no intuito de detectar oportunidades de negócios.

Fase 1: Priorização e desenvolvimento: Detectado um projeto, nesta fase são realizados os primeiros pareceres técnicos, estimativas de custo macro da obra e estudos de proposta, confirmação da qualificação técnica da empresa para participação na licitação, análise de parcerias estratégicas e elaboração de cronograma preliminar para o estudo.

Fase 2: Kick-off e entendimento do escopo: Recebida a documentação de referência (seja em edital ou não), inicia-se a análise do material e o detalhamento do estudo, elaborando-se projetos conceituais, refinando-se o cronograma da proposta, realizando-se visitas ao local do projeto, identificando-se os principais riscos do projeto e definindo-se a EAP preliminar a ser utilizada.

Fase 3: Definição de metodologia e planejamento: Parte-se para a realização de projetos básicos, detalhando-se a EAP construída na fase anterior. Nesta fase, são extraídos os quantitativos do projeto, elaborando listas e requisições de materiais (LMs e RMs) para cotação pela área de Suprimentos via RFQs (*Requests for Quotation*). Também são definidas as premissas e produtividades a serem adotadas, bem como analisadas as opções de metodologia construtiva para o projeto em questão, além do cronograma da obra.

Fase 4: Desenvolvimento do orçamento: Nesta fase, são realizadas as transmissões de informações para as áreas de apoio da companhia, para que sejam produzidas as Composições de Preços Unitários (CPUs), os

organogramas e histogramas de mão de obra direta e indireta, equipamentos e materiais, dimensionadas as centrais industriais e os canteiros de obras, consolidação dos custos mais relevantes, e qualificados os riscos do projeto.

Fase 5: Consolidação do orçamento: Esta fase é caracterizada pela compilação dos inputs dados pelas áreas de apoio, consolidando-se também o cronograma e histogramas, determinando-se a logística dos fornecimentos, finalizando-se as cotações e os custos do projeto e quantificando-se seus riscos.

Fase 6: Consolidação do estudo: Nesta fase, insere-se no orçamento os custos financeiros, tributos e contingências para o estudo com base na matriz de riscos qualificada. São elaboradas as curvas de desencaixe e recebimento, quantificados os seguros, garantias e contingências, elaborando-se relatórios de tributos, financeiro e jurídico. Ao final, ocorre o *stage-gate* 5 com o presidente da Unidade de Negócios, a fim de aprovar o custo consolidado.

Fase 7: Formação de preço e fechamento: Realiza-se um mapeamento de inteligência de mercado, a partir do qual é consolidado o fechamento do preço a ser apresentado para o cliente, que será apresentado ao Comitê de Contratação, no *stage-gate* 6, para decisão de Go/NoGo.

Fase 8: Elaboração e finalização da proposta: Esta fase é composta pelo fechamento da Planilha de Preços Unitários e do *book* da proposta ao cliente.

Fase 9: Pós-proposta e transição: Em caso de vencimento da concorrência, realiza-se a passagem de bastão para a obra durante a mobilização.

Fase 10: Obra e encerramento: Esta fase corresponde ao período de obra, desde a sua mobilização até a entrega final ao cliente. Compreende também a elaboração e validação dos atestados técnicos e lições aprendidas deste período.

Esta dissertação enfocará nas fases dedicadas à elaboração da proposta (2 a 8), sobretudo nas iniciais (2 e 3), onde são definidas as principais premissas para elaboração do orçamento (fase 4).

A análise do histórico de projetos portuários estudados pela empresa objeto desta pesquisa levou à seguinte situação: em sua história, a empresa construiu 49 obras portuárias e, no ano de 2019, foram orçadas outras 10, das quais 5

tiveram as propostas entregues (isto é, o estudo passou por todos os *gates* do processo, culminando com uma proposta técnica comercial para o cliente final), sendo um terminal de regaseificação, duas ampliações de cais (um de granel sólido e outro de granel líquido) e dois estudos para construção completa de terminais de granel sólido.

O primeiro terminal de granel sólido trata-se de uma obra localizada no estado de Santa Catarina. Foram previstas as obras civis e montagem eletromecânica onshore e offshore de implantação do terminal. A parte offshore era constituída de um berço de atracação e seus acessórios, ligado à parte onshore por uma ponte de acesso. A parte onshore previa uma pêra ferroviária, moega, tombador de caminhões e armazém de estocagem. Vê-se que é uma obra bastante complexa, interligando modais ferro, rodo e hidroviários, constituída por uma parte relevante em onshore, acompanhada pela parte offshore.

O segundo terminal de granel sólido seria construído no estado do Amazonas, e era constituído de um cais para descarga de barcaças, cuja carga seria transferida por correias transportadoras para o sistema de estocagem (armazém) na parte em terra. Além disso, foi previsto outro sistema de correias transportadoras para retomada do granel e abastecimento de navios maiores, em um cais de maiores dimensões a ser construído na parte offshore. Nesse caso, o terminal era somente para estocagem entre diferentes etapas do modal hidroviário.

As ampliações de cais são obras relativamente mais simples (em termos de valor total e de disciplinas envolvidas, onde não há transporte da carga para sistemas de estocagem). Geralmente, mantem-se o ou os modais iniciais, e se ampliam os berços de atracação, cais e píeres existentes. Apesar de envolverem um número menor de disciplinas e equipamentos, essas ampliações são quase exclusivamente compostas por serviços offshore, que exigem estudo detalhado e controle. A primeira ampliação objeto dessa pesquisa previu a construção de novas estacas e laje offshore para aumentar a área de estocagem de um terminal de contêineres no estado de São Paulo. Já a segunda, contemplando um novo berço e ponte de acesso a partir do cais existente, também seria em um terminal em São Paulo, mas foi um estudo para a construção de um novo píer no terminal em operação.

A análise das estruturas analíticas de projeto (EAPs) para estes cinco empreendimentos mostrou a seguinte situação (Figuras 8 a 10):

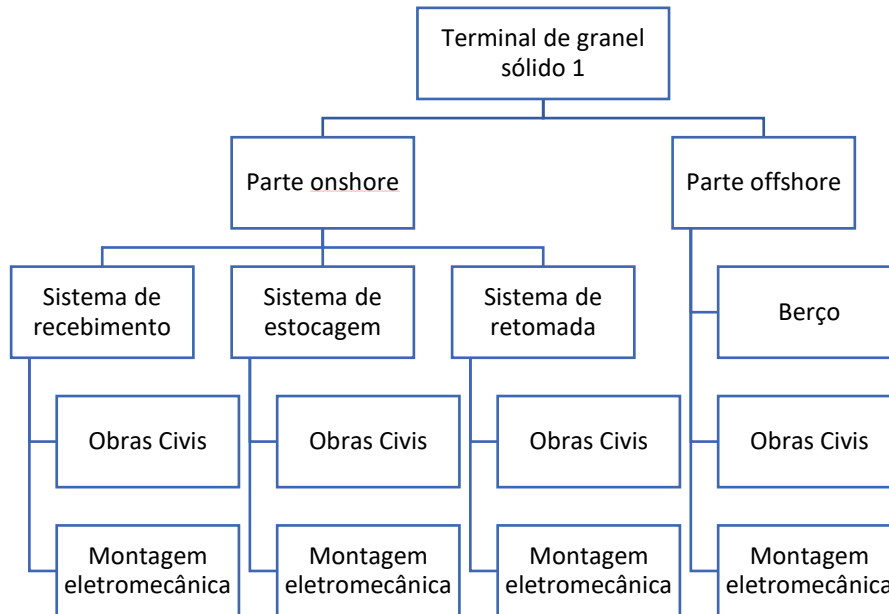


Figura 8: Estrutura Analítica do Projeto - Terminal de granel sólido 1
Fonte: Autora

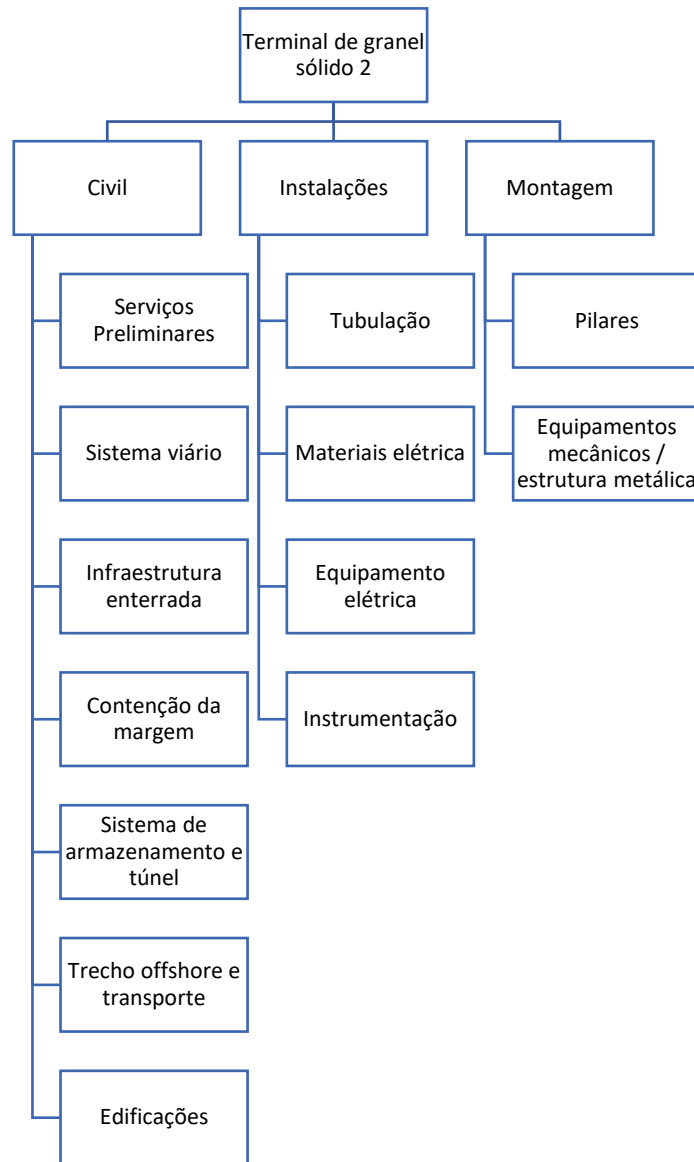


Figura 9: Estrutura Analítica de Projeto - Terminal de granel sólido 2
 Fonte: Autora

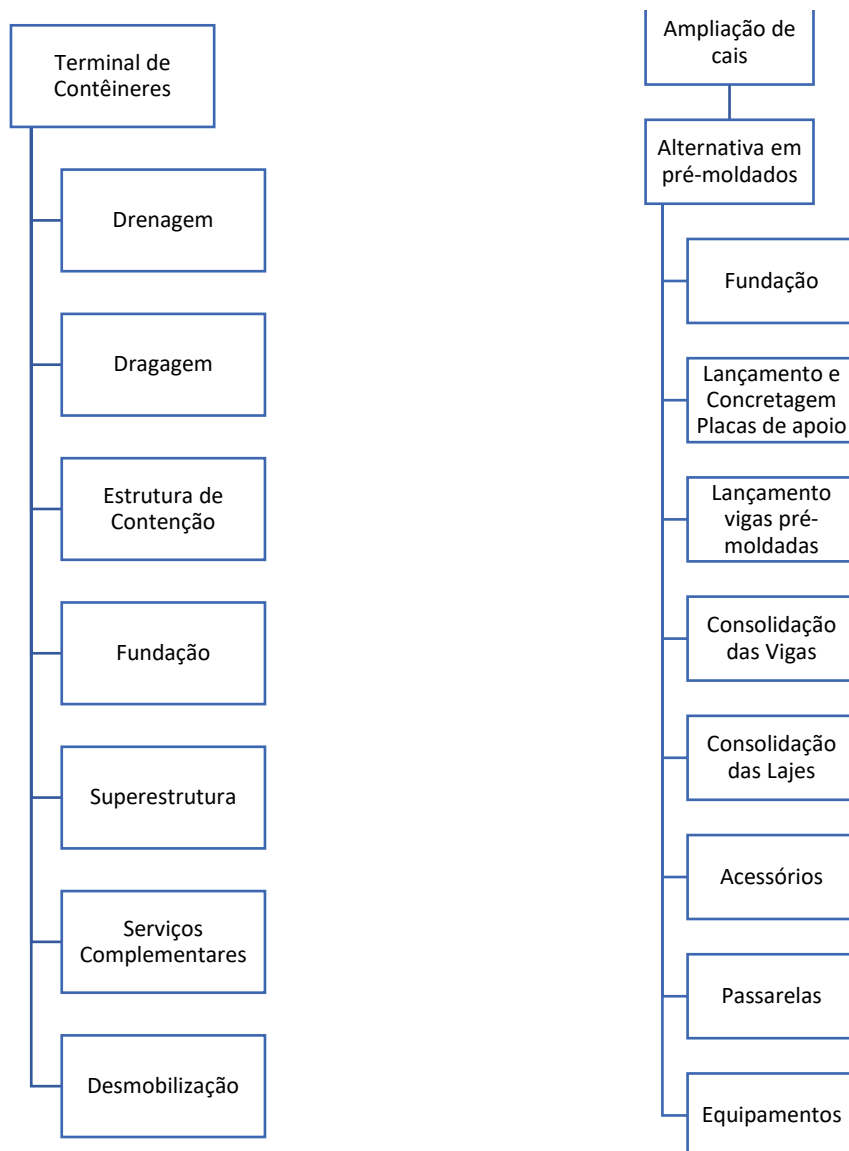


Figura 10: Estrutura Analítica de Projeto – Terminal de Contêineres e Ampliação de cais 1
 Fonte: Autora

Conforme visto acima, dada a variedade de estruturas analíticas de projeto, para este estudo, as obras foram classificadas segundo sua finalidade e sua forma. Assim, teríamos, de forma geral:

Quanto à finalidade:

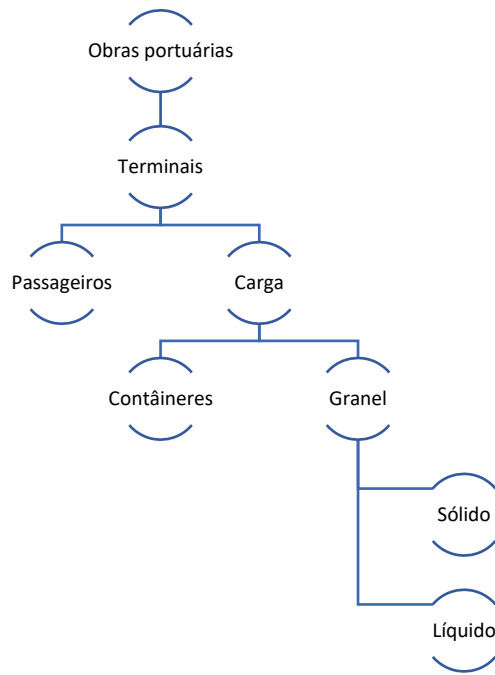


Figura 11: Classificação de obras portuárias quanto à finalidade
 Fonte: Autora

Quanto à forma:

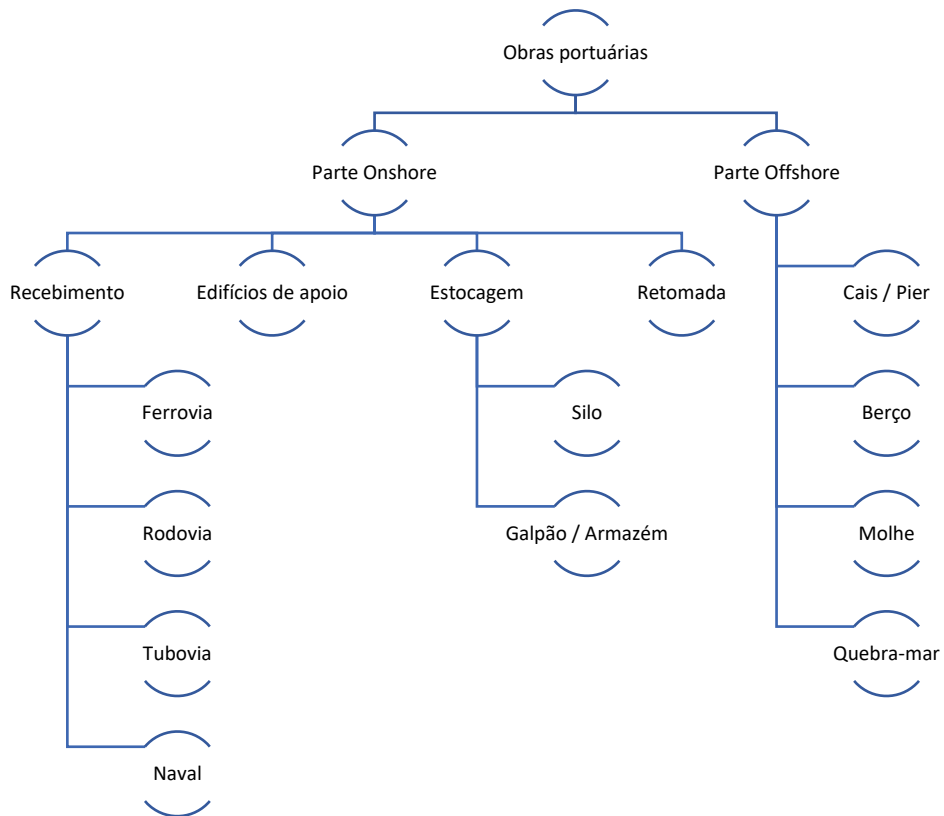


Figura 12: Classificação de obras portuárias quanto à forma
 Fonte: Autora

O terminal de regaseificação não fará parte desse estudo, por se tratar de obra predominantemente de montagem eletromecânica, extrapolando os limites de construção civil, aos quais este trabalho se restringe.

Projeto e escolha da solução de engenharia

Esta seção descreverá, com base na experiência profissional da autora e entrevistas com demais profissionais da área, aspectos importantes e decisivos na elaboração de propostas técnicas de obras portuárias. Apesar de estar baseada no processo da empresa objeto do estudo, trata-se de atividades típicas realizadas por empresas que atuam nesse mercado.

O mercado de projeto de obras portuárias é bastante restrito em relação à quantidade de empresas projetistas especializadas, de forma que, quando ingressa no processo de licitação, a construtora usualmente já tem estabelecida uma parceria com uma das empresas projetistas disponíveis. Assim, não se estudam diferentes alternativas propostas por diferentes projetistas buscando aquela de maior valor para o cliente final, mas sim, diferentes alternativas propostas por uma mesma empresa de projeto. Essas alternativas normalmente comportam um mesmo esquema estrutural (com o qual a empresa projetista já está familiarizada). Caso a construtora vença o certame, é com a projetista da fase de proposta que ela trabalhará durante a fase de detalhamento de projeto (executivo) e obra.

É importante frisar que o cliente, no edital, já apresenta um estudo conceitual ou básico do projeto. A depender do cliente, é possível que haja a possibilidade de a construtora e sua projetista produzirem e apresentarem orçamentos para projetos alternativos (obviamente mais econômicos). Em caso negativo, todas as proponentes deverão apresentar propostas para uma mesma solução de projeto, apresentada pelo cliente no edital. Neste caso, não se realizam alternativas (apenas detalhamentos), e a planilha de quantidades utilizada é a fornecida pelo próprio cliente. Em todos os casos, a planilha é checada e orçada posteriormente.

Para os casos em que a construtora pode oferecer uma alternativa de projeto (Figura 13), o início do processo de elaboração do projeto para proposta se dá a partir da escolha do equipamento a ser usado para a cravação das estacas (que

pode ser próprio da construtora ou alugado), atestando a relevância desses elementos nesse tipo de obra. A capacidade de cravação em termos de energia gerada pelo martelo e de verticalização de peças (em kg), mostrada no item 1 da Figura 13 é um critério limitante para a escolha da alternativa. Outra entrada necessária (2.) é a carga/esforço a ser absorvida por cada estaca, informada normalmente no edital, de acordo com o projeto elaborado pelo cliente. Essa carga é oriunda de cálculos preliminares realizados a partir dos esforços gerados pela atracação das embarcações (caso de cais) e/ou pelas condições marítimas (ventos, correntes e ondas).

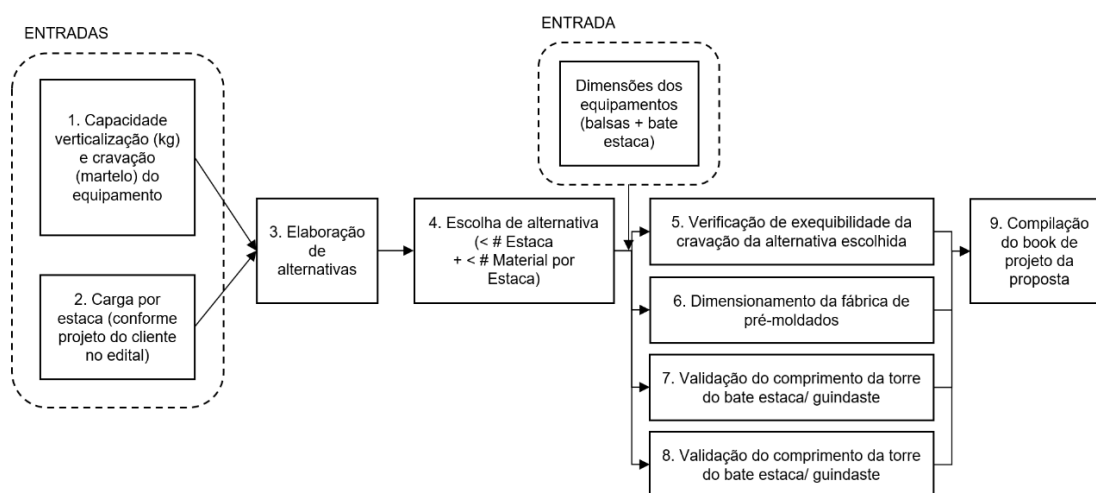


Figura 13: Ilustração de processo típico de elaboração de projeto e planejamento de obras portuárias durante a fase de propostas
Fonte: Autora

De posse dessas informações, é possível gerar diferentes cenários (3.) com *grids* para o layout das estacas. Esses grids são gerados de acordo com a carga total a ser absorvida pela estrutura, obtida através da multiplicação da carga por estaca pelo número de estacas projetadas. Em teoria, quanto maior o diâmetro da estaca, maior a sua capacidade de absorção de carga e, portanto, é necessário um menor número de estacas para absorver a carga total prevista para a estrutura, e vice-versa. No entanto, estacas de maiores diâmetros necessitam maior capacidade de cravação do equipamento.

Também é importante, além dos diâmetros, considerar o material do qual as estacas são feitas. No cenário atual (2022), o custo do aço é muito maior do que o do concreto, fazendo deste último um material mais competitivo. Assim, parte-se do princípio de que estacas de concreto resultariam em propostas comerciais

também mais competitivas. No entanto, estacas em concreto costumam necessitar de maior energia de cravação pelo equipamento, por conta de seu maior peso (especialmente no caso de estacas maciças).

Normalmente, para dar maior rigidez à estrutura (e, portanto, maior capacidade de absorção da carga total necessária), caso não seja possível absorver toda a carga com estacas verticais de concreto vazadas de um determinado diâmetro, adotam-se estratégias como (não necessariamente nessa ordem): aumentar o diâmetro, inclinar eixo de algumas estacas, preencher partes de seu comprimento ou sua totalidade, aumentar da área de ponta (fechando-as), troca do material para aço, ou diminuição do vão entre estacas (que é a última alternativa, pois resulta em um maior número total de estacas).

Dada a elaboração de uma alternativa de projeto considerando as opções e critérios acima descritos, escolhe-se aquela (4.) que apresenta a menor quantidade total de estacas, e a menor quantidade de material por estaca, dados que são obtidos através de listas de materiais. A construtora parte então para a elaboração e verificação da sequência de cravação do layout das estacas escolhido (5.), que é realizada por meio de uma planilha eletrônica, como detalhado no item seguinte (planejamento da execução e cronograma). Ao mesmo tempo, é realizado o dimensionamento da fábrica de pré-moldados (6.), que consiste na elaboração do layout da linha de produção, estudo dos estoques de peças e manobras dos equipamentos que serão utilizados para a solução de projeto (caminhões munck e betoneiras). Também são realizadas análises para a confirmação do comprimento da torre do bate-estaca para a cravação das estacas e para o içamento dos pré-moldados (verifica-se a capacidade de lançamento e colocação das peças, dadas as restrições de acesso da balsa de cravação causadas pelas estacas já cravadas) (7.), confirmando também os ângulos de trabalho (para cravação e içamento). Por fim, é realizada a checagem da lista de quantidades gerada pela projetista (8.), com uso de planilha eletrônica. Todo este trabalho é realizado em CAD 2D, cujos desenhos são compilados e anexados ao book da proposta (9.). Através de entrevista com o desenhista-projetista que era responsável por esses estudos na empresa, verificou-se que as plantas e cortes eram feitos para cada um dos estudos, em cada projeto (proposta) em curso. É relevante notar que os cortes eram feitos

segundo a própria experiência do projetista, o que pode representar um risco bastante grande de o profissional não identificar um ponto crítico onde, por exemplo, o pórtico não atende à altura necessária de estoque, e inviabilizar a solução estudada para a fábrica de pré-moldados. Além disso, detalhar em 2D todos esses estudos de logística é uma tarefa que leva tempo, o qual, em termos de proposta técnico-comerciais, é um ativo valioso.

Além disso, os produtos 2D gerados para um determinado estudo não têm a possibilidade de ser aproveitados em outros, justamente pela necessidade de revisar inúmeros desenhos. Assim, sempre se começa do início a cada nova proposta. Somado a esses benefícios, entende-se que “uma biblioteca de objetos pode ser gerada quanto mais modelos/estudos forem realizados”, permitindo que sejam feitas somente adaptações nos modelos de canteiro e de logística, proposta a proposta. Isso exigiria, na opinião dele, num primeiro momento, um esforço grande da empresa (para contratar e iniciar essas modelagens de canteiro). No entanto, ele afirma que, com o passar do tempo, o retorno desse investimento é positivo, pois se ganhará celeridade na elaboração dos estudos, os quais terão um nível de qualidade muito maior, justamente pela redução da incerteza envolvida.

O profissional também apontou a possibilidade de, vencido o certame, haver a necessidade de redesenhar todos os estudos para verificação, o que, por si, já é um retrabalho. Na opinião dele, se o estudo na fase de proposta ocorrer já em BIM, esse modelo é apenas validado na fase de obra.

Enquanto a construtora checa a lista de quantidades emitida pela empresa projetista, esta segue no detalhamento das quantidades da alternativa escolhida, que será utilizada na fase de planejamento. Esse levantamento de quantidades é relativamente simples pois, como há a semelhança com uma obra modular, quantificam-se os materiais de cada tipo de peça e multiplicam-se esses valores pelo total de peças no projeto, possibilitando que seja normalmente feito em planilhas eletrônicas.

Planejamento da execução e cronograma

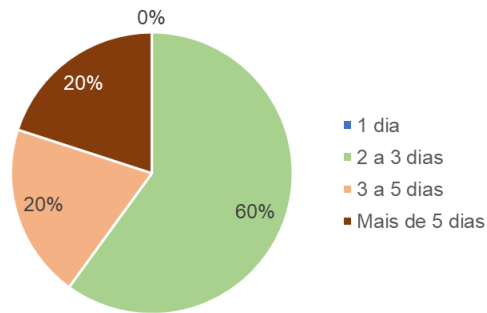
A verificação da sequência de cravação das estacas feita pela construtora é realizada com auxílio de impressões em papel, em escala, das balsas e do layout

definido para as estacas. Essa sequência estabelecida em papel é testada com auxílio de uma planilha eletrônica, onde são detalhadas, uma a uma, as manobras requeridas para a balsa onde está o bate-estaca. De posse dessas informações, é possível determinar o tempo previsto para a execução da cravação das estacas, que será levado em conta na elaboração do cronograma. É relevante mencionar que essa etapa da verificação da sequência de cravação com base em papel e planilha leva em torno de 3 dias. Na sequência é realizado o detalhamento do planejamento, contemplando as demais atividades.

Uma pesquisa com a área de Planejamento de proposta da empresa em questão mostrou o seguinte estado atual (e potencialidades para o uso do 4D):

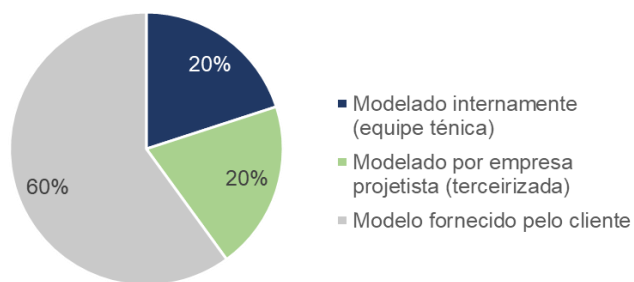
1. 60% dos planejadores afirmaram demorar de 2 a 3 dias para terminar a primeira versão de link completo entre cronograma e modelo (Gráfico 3).
2. 60% dos planejadores afirmaram que a principal origem do modelo é o Cliente, via edital (Gráfico 4).
3. As principais dificuldades apontadas (múltiplas respostas) foram (Gráfico 5): 80% dos respondentes apontaram o cronograma muito extenso e modelo não adequado, enquanto 40% apontaram a influência de mudanças no projeto e excesso de trabalho manual. Mudanças no planejamento foram apontadas por 20% dos respondentes. Em contrapartida, a falta de capacitação ou inexistência de licenças do software disponíveis não foram apontadas como entraves para a realização do 4D.
4. Em relação à quantidade de revisões do planejamento 4D, 60% afirmaram que houve, em média, mais de 3 revisões (Gráfico 6).
5. No entanto, em 80% das vezes em que o planejamento 4D foi analisado pelo planejador e pela equipe do projeto, resultou em melhoras no planejamento inicial (Gráfico 7).

Gráfico 3: Tempo médio para geração do primeiro link entre modelo e cronograma



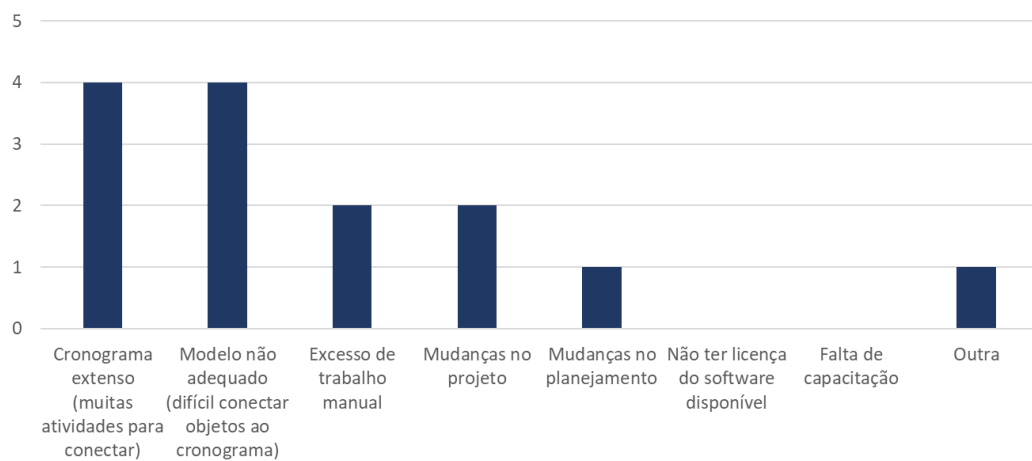
Fonte: Autora

Gráfico 4: Principal origem do modelo



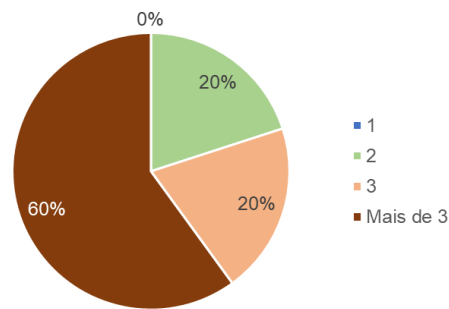
Fonte: Autora

Gráfico 5: Principais dificuldades enfrentadas no planejamento com BIM



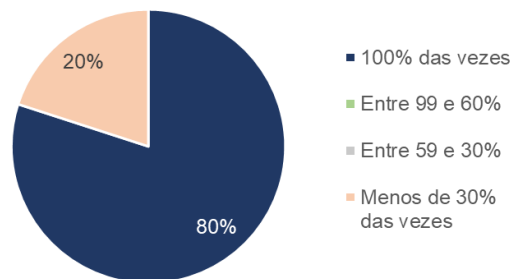
Fonte: Autora

Gráfico 6: Número médio de revisões do planejamento com BIM



Fonte: Autora

Gráfico 7: Porcentagem de projetos melhorados após o uso do planejamento com BIM



Fonte: Autora

Percebe-se, portanto, que, uma vez realizado, o planejamento 4D traz benefícios em relação à primeira versão do planejamento visualizado apenas em Diagramas de Gantt. No entanto, é necessário trabalhar nas questões relativas ao cronograma e ao modelo, buscando facilitar o link entre os arquivos, principalmente caso ocorram mudanças no projeto ou no planejamento. Assim, serão propostas diretrizes visando automatizar o processo, reduzindo o trabalho manual, moroso e sujeito a erros nele presente.

Um aspecto relevante para um bom projeto consiste em considerar a exequibilidade deste *in situ*. Uma vez definida a solução de engenharia (layout das estacas), as condições ambientais é que vão definir as metodologias executivas possíveis. A influência de correntes (ondas), ventos e marés é crucial na execução deste tipo de obra, de forma que o projeto ideal é aquele apresenta maior exequibilidade dadas as condições de campo. A cravação das estacas é, por exemplo, uma atividade bastante exigente nesses termos, pois sofre

influência direta das condições ambientais, além de envolver equipamentos cuja compra ou aluguel são representativos em termos de custo. Todos os equipamentos embarcados precisam operar de maneira estática para garantir a segurança da operação e isso é conseguido através de conjuntos de âncoras de grande porte (em torno de 1,5 a 4 toneladas), que são lançadas a partir de cada uma das balsas. Quando a quantidade de balsas aumenta, é necessário cuidado para que as âncoras não enrosquem umas nas outras e colidam com estruturas existentes, requer um estudo detalhado da movimentação destas. Balsas de cravação e apoio/montagem são as mínimas condições necessárias para execução do serviço, e a ordem de lançamento das âncoras também é importante (a que lançou primeiro tem que ser tirada por último para evitar o risco de choque).

O estudo do cronograma das ampliações de cais mostrou que as atividades relacionadas ao estaqueamento fazem parte do caminho crítico deste tipo de obra. Já nos terminais de granel sólido, esta atividade não faz parte do caminho crítico, sendo substituída por componentes mais significativos da parte onshore (montagem das estruturas de estocagem). No entanto, atrasos na execução das atividades offshore podem alterar o caminho crítico deste tipo de obra, e representar um risco relevante para o orçamento do projeto, pois, como visto anteriormente, têm representatividade alta em termos de custos.

Quando não há condições de ondas, qualquer equipamento/método construtivo pode ser usado. Nessas condições, o *driver* será a disponibilidade e custo dos equipamentos. Em condições de onda, as possibilidades de escolha de método executivo são mais limitadas (plataforma elevatória ou cantitraveller).

Definido o método, a sequência é quase lógica: cravação das estacas > limpeza das estacas > pinagem (se houver) > arrasamento > contraventamentos (se houver) > colocação da placa de apoio > colocação do pré-moldado > concretagem in loco > cura > acessórios.

O sequenciamento da cravação das estacas é, em grande medida, função do método construtivo escolhido. Para uso de cantitraveller, o único sequenciamento possível é o linear. Já no caso de bate-estacas flutuante, a

cravação tem ordem livre, desde que a balsa possa se posicionar na posição correta (sem interferências físicas).

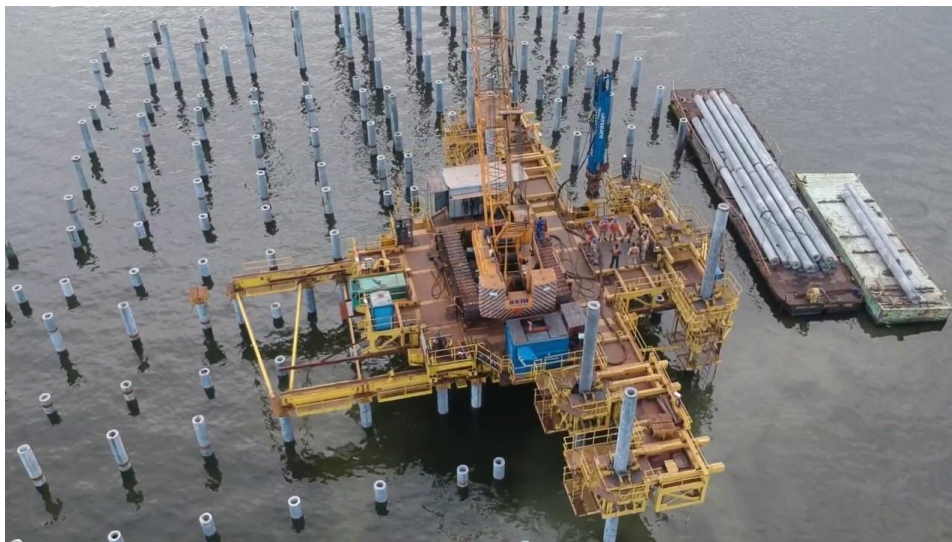


Figura 14: Cravação de estacas com cantitraveller
Fonte: Naresi Jr. (2023)



Figura 15: Cravação de estacas com bate-estacas flutuante
Fonte: Swi Jetty Nusantara (2023)

Assim, um ponto de atenção no processo de propostas reside no fato de que pequenas alterações visando a otimização do projeto podem impactar significativamente o cronograma da proposta. Ainda que pequenas, dos quatro projetos desta pesquisa, três sofreram mais de uma alteração em relação à versão original estudada no início do processo. A cada alteração, são afetadas as quantidades (impacto menor, por se tratar de obra basicamente modular) mas, principalmente, o plano de ataque das obras. Em alguns casos, já se

trabalhou até a fase 4 ou 5 (de desenvolvimento ou consolidação do orçamento), quando a alternativa é identificada ou esboçada, culminando, portanto, com o reinício do estudo desde a fase 2 ou 3 (de entendimento do escopo ou principalmente definição da metodologia construtiva). A possibilidade alteração de cenários enseja a necessidade de desenvolvimento de métodos mais ágeis ou expeditos, sobretudo em relação à parte de elaboração do cronograma de execução desse tipo de obra.

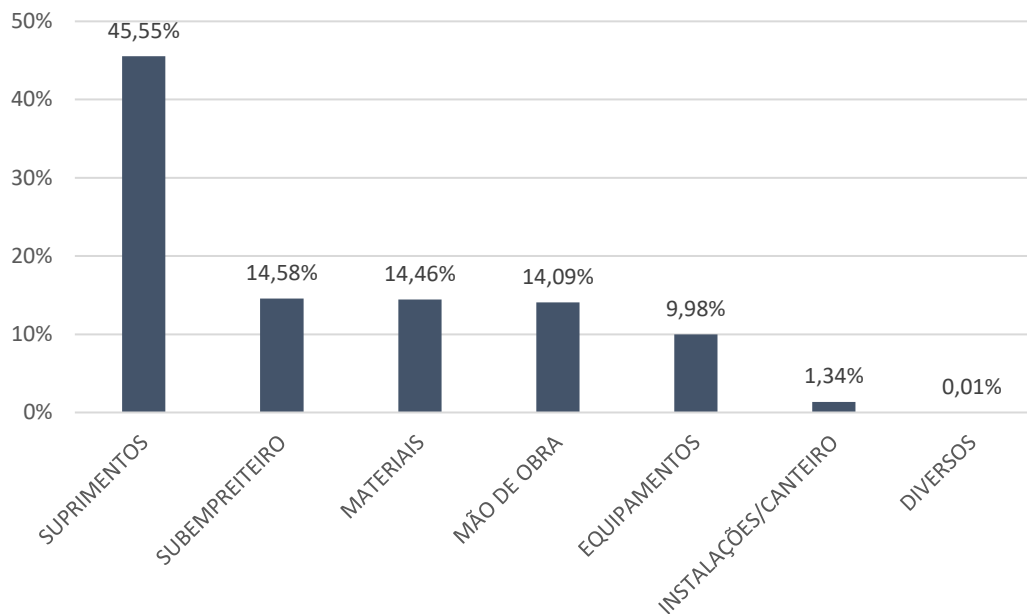
4.2. Custos relevantes em obras portuárias

O orçamento de um projeto envolve uma somatória de diferentes tipos de custos. No caso da empresa em referência, eles são categorizados de acordo com seus insumos (mão de obra, materiais, suprimentos, equipamentos, etc.) e com os serviços que os compõem. A categoria de suprimentos refere-se aos ativos industriais (materiais e/ou equipamentos, sobretudo) permanentes que serão entregues ao cliente final. Entre eles, podem-se citar: correias transportadoras, carregadores e descarregadores de navios, torres pescantes, etc. Já a categoria de subempreiteiros representa um conjunto de custo de prestações de serviços, compostos por mão de obra, equipamentos, materiais necessários para a execução de um serviço subcontratado. As curvas de insumos contemplam todos os recursos necessários para a execução dos diversos serviços do projeto. Já as curvas de serviços apresentam, cada uma, os insumos relativos àquele serviço de referência. Assim, os insumos podem se repetir para diferentes serviços.

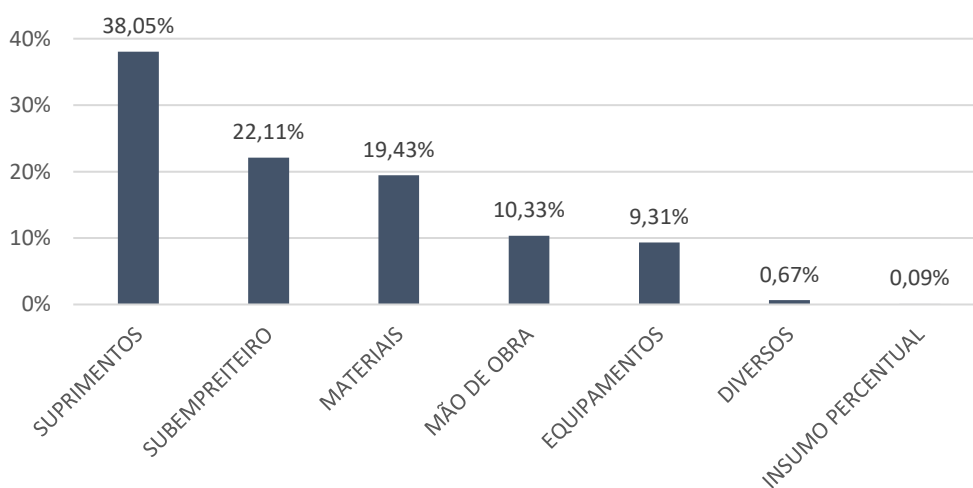
Ambas as curvas são extraídas de software próprio da empresa.

O estudo das curvas de custos de insumos orçados para os quatro projetos anteriores, mostrou a seguinte situação (Gráficos 8 a 11):

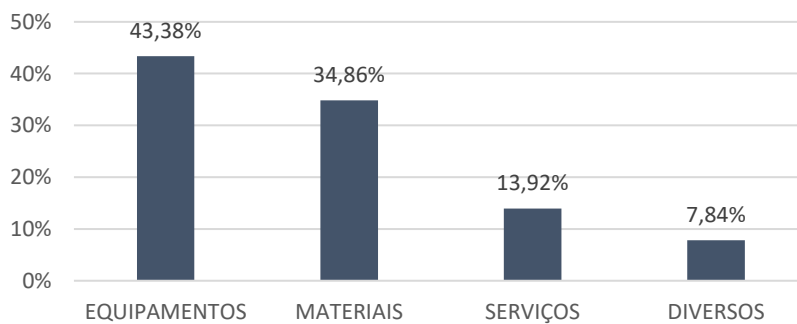
Gráfico 8: Curva de insumos - Terminal de granel sólido 1



Fonte: Autora
Gráfico 9: Curva de insumos - Terminal de granel sólido 2

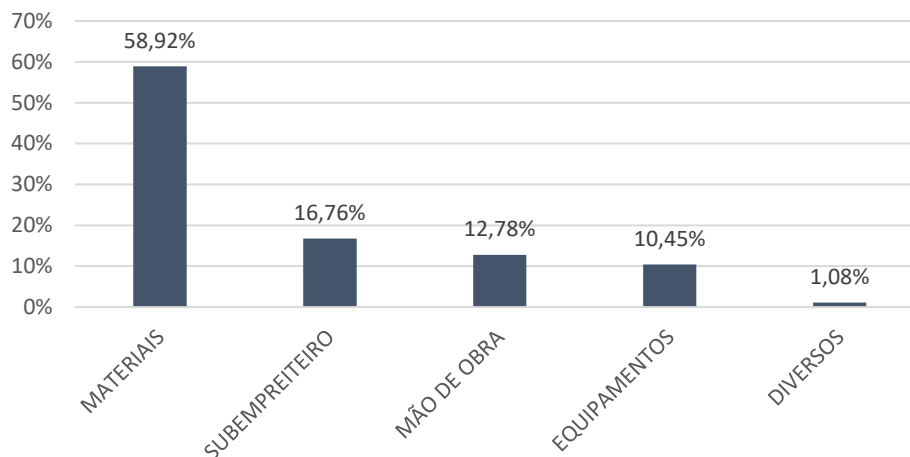


Fonte: Autora
Gráfico 10: Curva de insumos - Ampliação de cais 1



Fonte: Autora

Gráfico 11: Curva de insumos - Ampliação de cais 2:



Fonte: Autora

Dados os gráficos acima, percebe-se que a representatividade dos itens de suprimentos nos terminais de granel sólido é maior do que nas ampliações de cais. Isso porque a construção ou reforma de terminais intermodais requerem aquisição de equipamentos (torres pescantes, transportadores de correia, elevadores, balanças, tomadores de caminhões, vibradores de vagões, etc.) cujos custos individuais somados correspondem a uma porcentagem relevante do custo total. Para as ampliações de cais, percebe-se que os equipamentos responderam majoritariamente pelo custo de insumos do primeiro projeto, enquanto no segundo, a maior representatividade foi dada pelos materiais. Isso se deu pela natureza diferenciada dos projetos, onde o primeiro considerou o aluguel de um guindaste treliçado de 350 toneladas, o que não ocorreu no segundo. Esse aluguel foi considerado dada as condições de solo diferenciadas da região, que não permitiriam a execução de alguns serviços com os equipamentos próprios da empresa. Excluindo-se da análise o custo com esses equipamentos específicos nos três primeiros casos, nota-se a relevância dos custos de serviços subempreitados e dos materiais, os quais, por sua vez, influenciam também nos custos de mão de obra. Esses dados mostram a importância de se ter um estudo detalhado e preciso das quantidades dos materiais a serem aplicados nos projetos portuários.

Já o estudo dos serviços pode ser realizado de diferentes formas pelos orçamentistas: ou numa planilha única com todos os custos dos serviços a serem

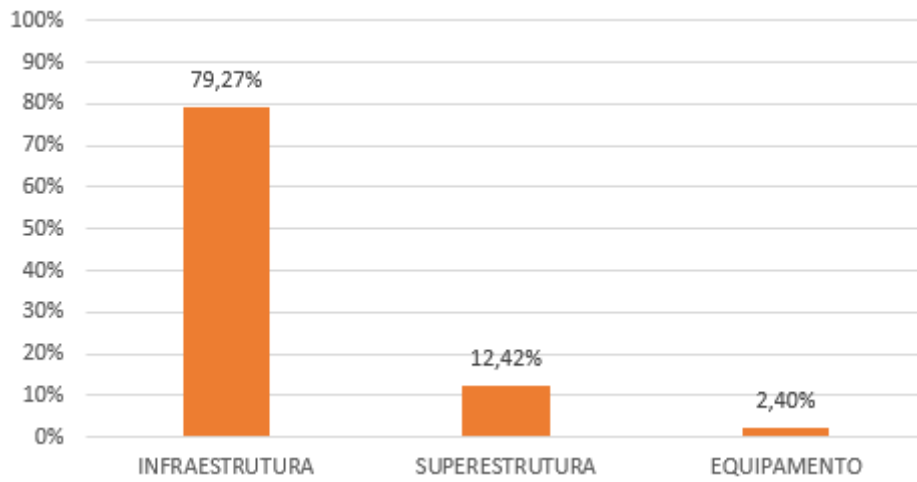
realizados, ou em um conjunto de planilhas. Essa escolha varia em função de como o cliente solicitou a visualização dos custos na proposta técnica. Geralmente, se organizam as planilhas dos custos de acordo com a solicitação do cliente.

A análise dos serviços dos 4 estudos realizados mostrou uma diferenciação grande para o terminal de granel sólido 1, pois o projeto envolveu uma significativa quantidade de serviços executados onshore e que contribuiu para a alta representatividade da conta “infraestrutura” (que está diretamente relacionada à conta “Suprimentos” no estudo de insumos).

Conforme ilustrado anteriormente, as obras portuárias podem ser divididas segundo a localização de suas estruturas em duas partes: onshore e offshore. No caso das obras estudadas, as ampliações de cais são exclusivamente offshore, enquanto os terminais de grãos são mistos (onshore e offshore). Buscando identificar a representatividade dos serviços offshore, comparou-se o valor do metro quadrado com o valor correspondente onshore. Assim, dividiu-se o custo total das ampliações de cais pelas suas respectivas áreas, e, no caso dos terminais, o valor dos serviços offshore foi dividido pela área de estruturas offshore, e o valor dos serviços onshore, pela área correspondente. Percebeu-se que, em média, o custo médio do metro quadrado offshore é cerca de 9 vezes o custo por metro quadrado em parte onshore. Desta forma, percebeu-se que a parte offshore das obras portuárias é bastante representativa em termos de custo.

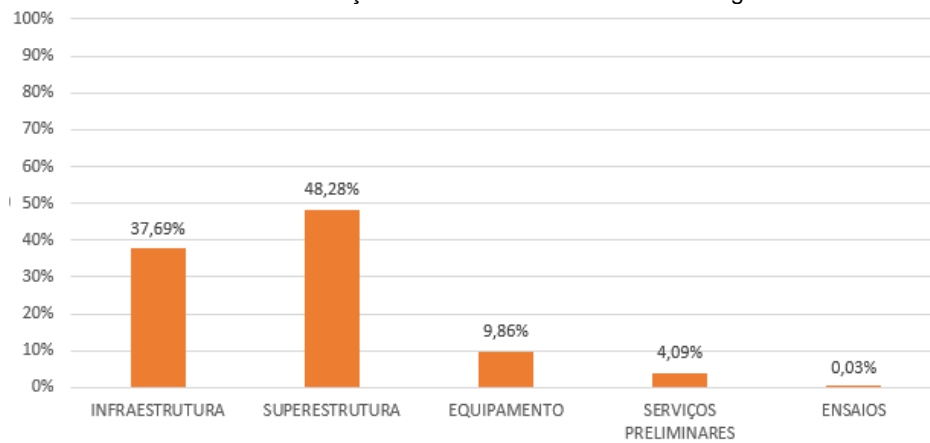
Sendo assim, por terem natureza bastante distinta das demais obras, a parte onshore foi excluída desta pesquisa, restando a parte offshore. O mesmo ocorre com a parte onshore do terminal de granel sólido 2. Como as duas ampliações de cais não contemplam estruturas onshore, foram mantidos os serviços em sua totalidade. As disciplinas de montagem também foram desconsideradas, por se tratarem de parte industrial e/ou eletromecânica. Dessa forma, o foco do estudo será nos componentes de civil da parte offshore dos projetos.

Gráfico 12: Curva de serviços – Parte Offshore – Terminal de granel sólido 1



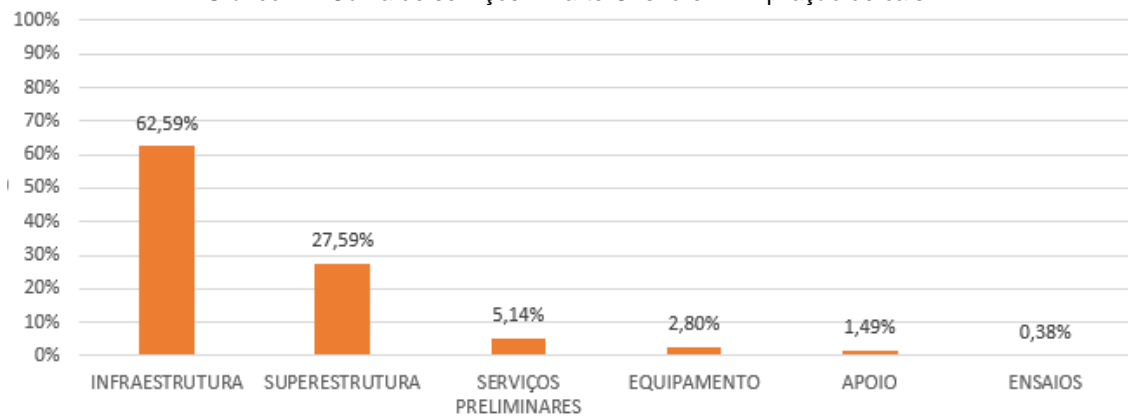
Fonte: Autora

Gráfico 13: Curva de serviços – Parte Offshore – Terminal de granel sólido 2



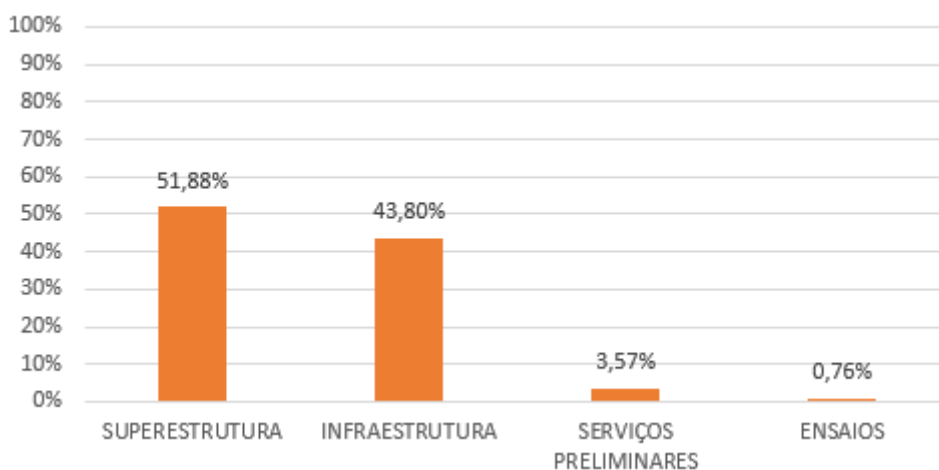
Fonte: Autora

Gráfico 14: Curva de serviços – Parte Offshore – Ampliação de cais 1



Fonte: Autora

Gráfico 15: Curva de serviços – Parte Offshore – Ampliação de cais 2



Fonte: Autora

Da análise dos dados, conclui-se que a parte de infraestrutura corresponde a, em média, 56% do total da parte civil, enquanto a superestrutura responde por, em média, 35%. Assim, a representatividade dos serviços relacionados a fundações e estruturas submersas ou enterradas é maior do que a dos demais serviços, comprovando sua relevância e necessidade de estudos aprofundados.

Aprofundando o estudo e ampliando o espectro de comparação, o processo de construção de uma obra portuária é análogo ao de obra modular, pois ambas são compostas por elementos em sua maioria pré-fabricados que são colocados no local necessário. Podemos dividir as obras portuárias nos seguintes elementos: estacas, cabeças de apoio (luvas ou capitéis), lajes pré-moldadas, lajes moldadas in loco (enchimentos) e equipamentos/acessórios.

Para cada um desses elementos, é realizada a extração de quantitativos a eles referentes, uma vez que influenciam sobremaneira os custos da etapa de execução, conforme visto nos. No entanto, apesar de influenciarem diretamente nos custos, os elementos têm representatividade diferente no total orçado para as estruturas offshore. Para ilustrar esta hipótese, foi feita a análise mostrada na Tabela 3:

Tabela 3: Relevância nos custos por cada tipo de elemento, por projeto estudado:

| Projeto | EQUIPTOS. | ESTACAS | LAJE IN LOCO | LUVA / CAPITEL | METÁLICA | OUTROS | PRÉ-MOLDADO |
|---------------------|-----------|---------|--------------|----------------|----------|--------|-------------|
| Ampliação de cais 1 | 3,24% | 67,58% | 11,00% | 2,75% | 0,00% | 1,51% | 13,92% |
| Ampliação de cais 2 | 7,52% | 46,48% | 16,49% | 1,22% | 7,36% | 0,14% | 20,79% |

| | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Terminal Granel Sólido 1 | 2,40% | 79,27% | 0,00% | 14,58% | 0,00% | 0,00% | 3,74% |
| Terminal Granel Sólido 2 | 35,38% | 59,57% | 0,00% | 0,00% | 4,03% | 0,09% | 0,94% |
| TOTAL | 10,84% | 62,79% | 8,33% | 3,56% | 2,53% | 0,68% | 11,27% |

Fonte: Autora

Do estudo dos 4 casos aqui analisados, vê-se que as estacas têm maior representatividade (aproximadamente 63%) nos custos da parte offshore das obras em relação aos demais elementos. As lajes (pré-moldadas ou moldadas in loco) correspondem a aproximadamente 20%, enquanto as luvas/capitel, a outros 8%.

Em relação ao investimento em mão de obra para a elaboração da proposta técnico-comercial em si, levantou-se o total de horas dispendidas nos estudos dos quatro projetos, verificou-se que é bastante significativa sua quantidade (Tabela 4):

Tabela 4: Consumo de horas na elaboração das propostas avaliadas

| Estudo | Horas registradas no sistema (h) |
|-----------------------------|---|
| Terminal de granel sólido 1 | 4.951 |
| Ampliação de cais 1 | 6.124 |
| Ampliação de cais 2 | 4.153 |
| Terminal de granel sólido 2 | 5.154 |

Fonte: Autora

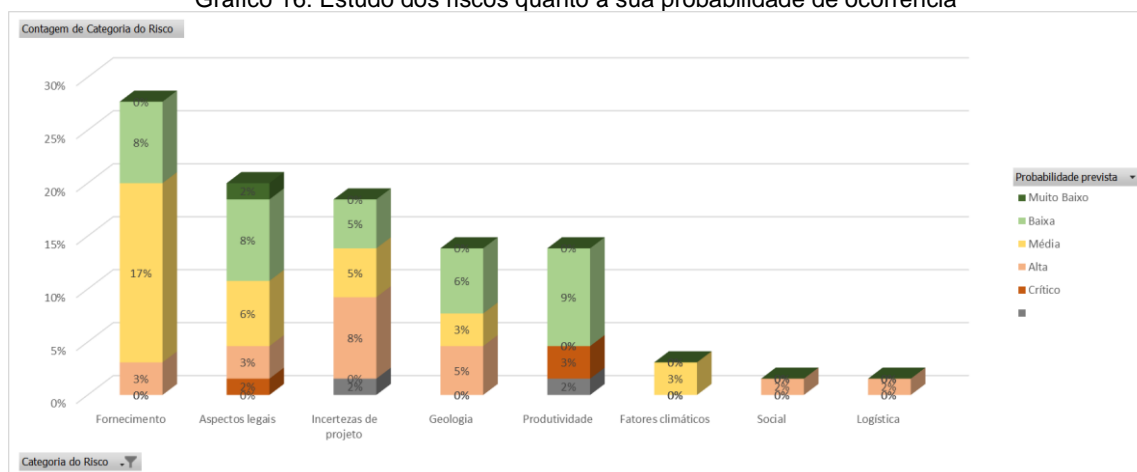
Através do uso de metodologias que permitam análises mais rápidas e/ou automatizadas dos produtos gerados, espera-se que o consumo de horas para as propostas possa ser reduzido.

Como visto anteriormente, os tipos, estruturas e categorizações das obras portuárias variam significativamente. Uma vez que o plano de contas da empresa é feito com base nos serviços (e não separadamente, insumo por insumo), neste estudo, será dado foco aos serviços dos terminais de contêineres e granéis sólidos, sobretudo no tocante ao relacionado à infraestrutura offshore de seus projetos.

4.3. Levantamento de riscos na etapa de propostas

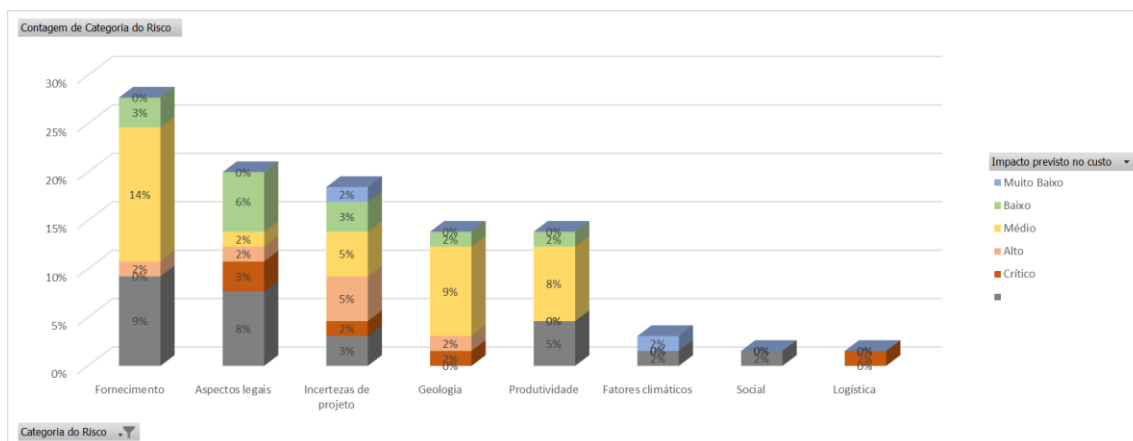
O processo padrão de proposta ilustrado na Figura 7 prevê a identificação dos riscos desde a fase 2. Ele também prevê um workshop de risco que geralmente é realizado na fase 6. Nele, é preenchida a matriz de risco do projeto. O estudo das matrizes de risco dos projetos portuários que fazem parte dessa pesquisa (Gráfico 16) mostrou que os principais riscos apontados se referem a incertezas relacionadas ao fornecimento de materiais, insumos, equipamentos e/ou mão de obra para a realização dos serviços, seguidos por aspectos legais (obtenção de licenças e permissões de trabalho). As incertezas de projeto respondem por 18% dos riscos mapeados, seguidos por riscos geológicos, de produtividade, relação com os fatores climáticos, sociais e logística. Em relação ao impacto desses riscos (Gráfico 17), a ordem das categorias de risco foi a mesma, estando o fornecimento em maior destaque, seguido pelos aspectos legais, incertezas de projeto, geologia, produtividade, fatores climáticos, aspectos sociais e, por fim, logísticos. Vale ressaltar que os aspectos legais apresentaram impacto potencial crítico ou alto em 5% dos casos, enquanto incertezas de projeto, geologia e logística, em 7%, 4% e 2% respectivamente. Assim, as incertezas de projeto têm relevância significativa na tratativa de riscos de uma estimativa de custos, o que pode afetar sobremaneira as contingências adotadas.

Gráfico 16: Estudo dos riscos quanto à sua probabilidade de ocorrência



Fonte: Autora

Gráfico 17: Estudo dos riscos quanto aos seus impactos, caso se materializem



Fonte: Autora

Dados os desafios inerentes à complexidade da etapa de elaboração de propostas, principalmente no que tange aos entregáveis das fases 2 e 3 (“Kick-off e entendimento do escopo” e “definição de metodologia e planejamento”), este estudo prevê o desenvolvimento de um artefato que possibilite a adoção do planejamento em BIM 4D, mas também auxilie no entendimento do projeto, de forma a mitigar os riscos relacionados tanto à exequibilidade do cronograma previsto (e desenvolvimento de cenários alternativos), reduzindo as contingências atribuídas aos orçamentos.

Propõe-se, portanto, um conjunto de manuais que contemplem:

1. Diretrizes de modelagem 3D que contribuam para um melhor entendimento do projeto;
2. Diretrizes para realização de planejamento 4D também para obras do segmento portuário, que contribuam para a visualização macro do cronograma do projeto e suas interferências dinâmicas.

5. DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Empregar o BIM para gerar uma proposta técnica-comercial cuja exequibilidade e confiabilidade sejam maiores passa, necessariamente, não somente por gerar projetos mais acurados, sobretudo na verificação da cravação das estacas da parte offshore, mas também por possibilitar a verificação do posicionamento dos equipamentos envolvidos (através da análise de relatórios de *soft clash*), gerando maior acurácia na produtividade prevista para as atividades. O desenvolvimento do artefato para esta pesquisa será desenvolvido com base em um estudo de caso, de maneira que se possam derivar as condicionantes para as diretrizes. No caso desta pesquisa, o projeto utilizado para a validação do artefato consistiu na ampliação de cais 1, por se tratar de estrutura mais simples, porém, contemplando todos os componentes e serviços característicos de obras portuárias (estacas offshore, placas de apoio e lajes).

5.1. Fundamentação para as diretrizes de modelagem 3D de obras portuárias

Como visto no capítulo anterior, as estacas são elementos bastante representativos em termos de quantidades e, conseqüentemente, custos, e para o estudo da sequência de cravação, como veremos no capítulo seguinte (planejamento). Assim, sugere-se que o modelo BIM contemple as estacas para a visualização do layout destas. Analogamente, as lajes pré-moldadas e luvas também têm a sua modelagem aconselhada, pois, somados, representam em torno de 14% dos custos. Além disso, é a partir do dimensionamento desses elementos que se determinam as áreas de estocagem para o futuro dimensionamento dos canteiros e verificação de compra de terrenos em local próximo à obra. Os equipamentos, apesar de representarem cerca de 10, são itens mais simples de serem quantificados e precificados, pois são contabilizados pelo número de suas unidades, que normalmente é baixa (defensas, ganchos, cabeços de amarração, escadas e trilhos, por exemplo). Além disso, são poucos os serviços precificados a eles relacionados (normalmente somente o valor do fornecimento é contabilizado). A título de comparação, para os elementos de concreto são contabilizados forma, armação, transporte e colocação das peças. Estruturas metálicas e outros elementos,

somados, totalizam aproximadamente 3% do valor orçado. Desta forma, se considerarmos a modelagem de estacas, luvas/capitéis, lajes pré-moldadas e moldadas in loco, cobriremos em média em torno de 85% do valor orçado.

Quanto às diferentes versões de projeto estudadas em uma proposta, em se tratando de BIM, quanto mais entregáveis possam ser gerados de forma automática e acurada, menor será a latência dadas as mudanças de cenário. Um exemplo clássico de entregável do processo de proposta que requer tempo considerável quando há esse tipo de mudança é a revisão do cronograma e suas respectivas análises. Isso porque os quantitativos (que normalmente costumam levar tempo para serem revisados e checados) desse tipo de obra são facilmente levantados, por se tratar de peças modulares, bastando somente calcular as quantidades referentes a uma peça e multiplicar pela quantidade total de peças. Já a revisão do cronograma é um trabalho ainda manual, portanto, passível de otimização ou automação.

Este estudo foca, portanto, na análise e otimização do planejamento desse tipo de obra, pela sua criticidade e impacto. Não serão utilizadas referências em termos de LOD, haja vista que recomendá-los, pelos diferentes padrões existentes, poderia dificultar um único entendimento. Assim, seria recomendado que se modelassem os seguintes elementos, visando otimizar o entendimento do projeto, estudos de logística e, por fim, realizar a simulação 4D:

- a) Estacas (metálicas ou de concreto)
Cilindros no diâmetro adotado em projeto, sobretudo para verificar interferências com balsas ou entre estacas durante a etapa da cravação.
- b) Luvas / Capitéis em concreto
Modelar com as dimensões de projeto.
- c) Lajes (ou dolphins) pré-moldadas
Modelar com as dimensões de projeto, de modo a fornecer insumos para o estudo de layout da fábrica de pré-moldados, espaços para manobras, áreas onshore e offshore para estoque dos pré-moldados. Além disso, é importante modelar a geometria próxima à real para a verificação da montagem dessas peças sobre as luvas/cabeças de apoio/capitéis das estacas. Pode ser utilizada modelagem mais detalhada com as armações

de espera caso se deseje que sejam visualizadas as áreas necessárias para estas regiões na fábrica de pré-moldados.

d) Equipamentos

Modelar bate-estaca em suas dimensões reais para confirmar o comprimento da torre do bate estaca/guindaste e seu respectivo ângulo de trabalho. Uma modelagem mais detalhada (com detalhamento das ligações das peças metálicas e chapas de ligação) pode ser utilizado para confirmação das peças do bate estaca que necessitam ser fabricadas ou reformadas para o trabalho no referido ângulo, e para confirmação de quantidades.

Por analogia, os elementos para os quais não se recomenda a modelagem para os usos BIM previstos são:

- a) Preenchimentos de estacas em concreto
- b) Elementos de concreto moldados in loco
- c) Equipamentos e acessórios (ganchos, defensas, escadas, cabeços de amarração)
- d) Armaduras

Para fins de extração de quantidades dos elementos não modelados, recomenda-se, para os preenchimentos em concreto e elementos moldados in loco, como as geometrias são por vezes simplificadas (cilindros ou retângulos), o uso de planilhas Excel para cálculos dos volumes. Para os equipamentos e acessórios, basta contar a quantidade prevista em projeto (que normalmente não passam de uma dezena por tipo). Por fim, para as armações, pode ser utilizada a mesma taxa de aço (normalmente expressa em kg/m^3) como base do cálculo, bastando, para obter a quantidade de aço, multiplicar a taxa em questão pelo volume de concreto calculado (seja pelo modelo, seja pela planilha Excel referida anteriormente).

A modelagem das linhas de âncora para simulação do fundeio não se fizeram necessárias, pois elas podem ser ajustadas em campo, buscando livrar de interferências com estruturas existentes. Além disso, o fundeio pode até não ser utilizado, caso as condições de tempo (vento, maré e ondas) sejam favoráveis (mais calmas, permitindo cravação sem âncoras). Em ambas as alternativas, é

possível checar as interferências no momento da cravação, isto é, quando a balsa já está posicionada para cravar cada uma das estacas.

A partir das hipóteses e orientações aqui prescritas, presume-se que seria possível gerar rapidamente esses modelos, para facilitar o processo de planejamento e tornando-o mais rápido e confiável. Além desses benefícios, a modelagem também traria insumos para a confecção de uma biblioteca de objetos BIM para a construtora, possibilitando seu reaproveitamento em diversos projetos e outras análises dentro de uma mesma proposta, ampliando o leque de usos BIM a serem desenvolvidos (e portanto, a qualidade do estudo).

5.2. Desenvolvimento da modelagem 3D:

Para a modelagem do cais objeto deste estudo de caso, foi realizada reunião com a empresa projetista parceira deste estudo, para a qual foram enviados os desenhos 2D relativos ao projeto, bem como a planilha de quantidades feita manualmente pela empresa projetista (uma vez que se tinha a ideia de que o levantamento de quantitativos seria também abordado neste estudo), em Microsoft Excel.

Isso porque nem todos os serviços são calculados diretamente pelo modelo (como todos aqueles computados em toneladas, ou quilos, por exemplo).

Os cronogramas das obras portuárias estudadas têm, em média, 300 atividades, das quais 50% se referem às estacas. Além disso, as atividades referentes as estacas são parte do caminho crítico de todas as obras estudadas.

Como descrito nas hipóteses para o uso do BIM para planejamento de obras portuárias, entende-se ser necessária a modelagem das estacas com seu diâmetro e comprimento reais, e também do conjunto balsa + bate estaca, de maneira que poderá ser verificada a existência de interferências durante o sequenciamento da cravação estabelecida, validando o movimento do equipamento e os tempos para a realização das atividades.

Para que seja facilitado o link entre as atividades do cronograma e os objetos do modelos, estes devem conter parâmetros, preferencialmente descrevendo a localização do elemento no projeto, conforme Quadro 8:

Quadro 8: Atributos recomendados para facilitar a simulação 4D:

| Atributo | Descrição |
|----------|---|
| Setor | Descreve em que setor da obra o componente está localizado (onshore ou offshore) |
| Grupo | Primeiro nível de segmentação do setor. Refere-se à estrutura na qual o componente está localizado. Ex: Ponte de acesso, cais fixo, cais flutuante, berço, molhe, quebramar, etc. |
| Etapa | Etapa de execução da obra. Ex: Fundação ou superestrutura |
| Eixo X | Caso haja distribuição por eixos, indicar. Ex: A, B, C... |
| Eixo Y | Caso haja distribuição por eixos, indicar. Ex: 1, 2, 3... |

Fonte: Autora

Conforme relatado anteriormente, essa orientação foi passada para a projetista antes do início da modelagem 3D, para que ela considerasse durante o desenvolvimento do modelo e incluísse tais atributos. Também foi explicado à empresa projetista o conteúdo do Quadro 8, com as orientações de atributos a serem inseridos e preenchidos para os usos de planejamento 4D.

O modelo foi elaborado utilizando o software Autodesk Revit versão 2021. Supôs-se que esse software, apesar de tradicional em seu uso para edificações e não para arquitetura, poderia ser usado para este tipo de obra, como visto nas recomendações da PANYNJ. O modelo inicialmente concebido teve de ser readequado para a versão compatível dos documentos fornecidos em 2D, gerando retrabalho nas famílias no que tange a diâmetros internos, externos e comprimentos das estacas, comprimentos de plugs (preenchimentos de concreto). No entanto, essa readequação do modelo foi bastante rápida, levando em torno de um só dia, pois os parâmetros criados (sobretudo comprimentos e diâmetros das estacas) auxiliaram nos ajustes automáticos dos elementos, evidenciando a relevância do uso de modelagem paramétrica. Foram necessários ajustes em 4 famílias, ao invés de nas mais de 400 estacas do projeto, caso esta adequação fosse feita em projeto em 2D.

Foram criadas famílias para:

1. estacas prancha,
2. estacas combi-wall diâmetro 1219mm,
3. plug de concreto armado combi-wall diâmetro 1219mm,
4. estaca vertical diâmetro 1016mm,
5. plug de concreto armado diâmetro 1016mm,
6. estaca inclinada 1016mm,
7. plug de concreto armado inclinado diâmetro 1016mm,

8. estaca vertical diâmetro 1219mm,
9. plug de concreto armado diâmetro 1219mm
10. luva pré-moldada vertical diâmetro 1016mm
11. luva pré-moldada inclinada diâmetro 1016mm
12. luva pré-moldada diâmetro 1219mm vertical
13. pré-moldado tipo domus PF1
14. pré-moldado tipo domus PF2
15. pré-moldado tipo domus PF3
16. pré-moldado tipo domus PF4
17. pré-moldado tipo domus PF5
18. pré-moldado tipo domus PF6
19. pré-moldado tipo domus PF7
20. pré-moldado tipo domus PF8
21. pré-moldado tipo domus PF9
22. pré-moldado tipo domus PF10
23. pré-moldado tipo domus PF11
24. pré-moldado tipo domus PF12
25. pré-moldado tipo domus PF13
26. pré-moldado tipo domus PF14
27. pré-moldado tipo domus PF15
28. pré-moldado tipo domus PF16
29. pré-moldado tipo domus PF17
30. pré-moldado tipo domus PF18
31. concreto moldado in loco fase 1 (1 família a cada entre-eixo)
32. concreto moldado in loco fase 2 (1 família a cada entre-eixo)
33. Cabeço
34. Defesa
35. Batente

5.3. Fundamentos para o uso do BIM para o planejamento de obras portuárias

Conforme visto anteriormente, o cronograma das obras portuárias é bastante influenciado pelo sequenciamento da cravação das estacas, tarefa essa que é analisada no detalhe pela construtora objeto desta pesquisa.

Assim, como o cravamento das estacas é estudado peça por peça (incluindo as manobras), os cronogramas também refletem tal detalhamento, contemplando uma linha para a cravação de cada estaca. A duração desta atividade é calculada através de uma planilha que considera as manobras necessárias para o deslocamento da balsa que comporta o equipamento. No entanto, a visualização das condições em que as manobras são executadas (cravação das estacas e posicionamentos e manobras da balsa) é somente através de desenhos 2D impressos, o que, em casos de layouts complexos como o observado no dolfin da Figura 16 dificulta a verificação de reais interferências entre o conjunto balsa+âncoras e as estacas já cravadas.

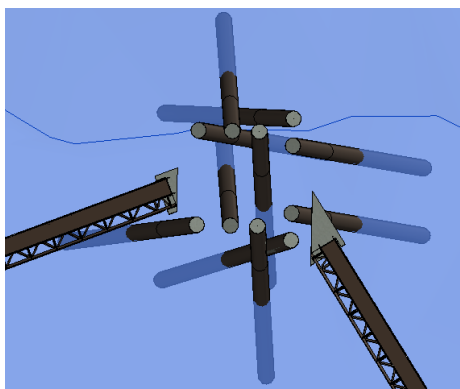


Figura 16: Exemplo de layout de estacas para dolfin
Fonte: Autora

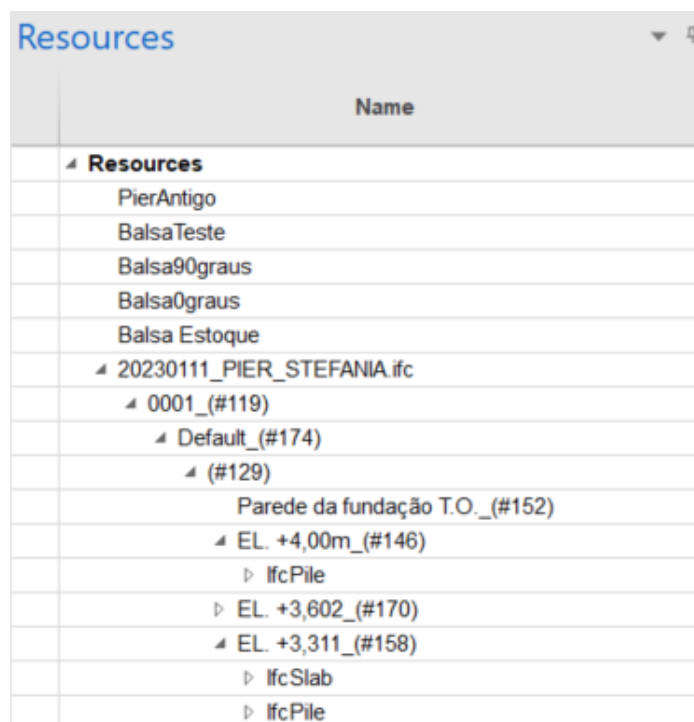
Como descrito nas hipóteses para o uso do BIM para planejamento de obras portuárias, recomenda-se a modelagem não somente das estacas (seu diâmetro e comprimento reais), mas também do conjunto balsa + bate estaca, para verificar o posicionamento correto destes durante a cravação, validando o movimento do equipamento e os tempos para a realização das atividades, os quais serão considerados no cronograma a ser apresentado ao cliente.

5.3.1. Desenvolvimento da simulação 4D

- a) Importação do modelo do píer (preferencialmente com a árvore e atributos organizados – estacas nomeadas de maneira padronizada)

Um primeiro teste da exportação do modelo mostrou que muitos elementos (lajes pré-moldadas, lajes moldadas in loco e estacas) foram exportados como ifcbuildingelementproxy, dificultando a seleção e triagem destes. Para adequar, foi necessário criar um parâmetro novo para os elementos modelados, o qual foi chamado de IfcExportAs, de modo a garantir que as famílias criadas fossem exportadas nas categorias ifc corretas (ifcslab e ifcpile). Selecionando o objeto, é possível preencher, no parâmetro IfcExportAs, se é uma laje (ifcslab) ou estaca (ifcpile).

Após a adequação, do modelo em Revit foi exportado um modelo ifc, usando o Coordination View 2.0 do ifc2x3. A importação deste modelo no Synchro foi realizada construindo automaticamente a árvore de recursos, conforme categorias ifc detectadas (ver Figura 17).



| Resources | |
|-----------|--------------------------------|
| | Name |
| ▲ | Resources |
| | PierAntigo |
| | BalsaTeste |
| | Balsa90graus |
| | Balsa0graus |
| | Balsa Estoque |
| ▲ | 20230111_PIER_STEFANIA.ifc |
| ▲ | 0001_(#119) |
| ▲ | Default_(#174) |
| ▲ | (#129) |
| | Parede da fundação T.O._(#152) |
| ▲ | EL. +4,00m_(#146) |
| ▷ | IfcPile |
| ▷ | EL. +3,602_(#170) |
| ▲ | EL. +3,311_(#158) |
| ▷ | IfcSlab |
| ▷ | IfcPile |

Figura 17: Árvore de recursos construída no Synchro
Fonte: Autora

No Synchro, foram criados filtros no modelo 3D (3D filters), de maneira a isolar a visualização das estacas, luvas, concreto moldado in loco e pré-moldados.

Esses filtros foram utilizados para facilitar a seleção dos objetos e conectá-los com as atividades do cronograma, utilizando o Automatching. Este procedimento utiliza regras criadas pelo usuário, que permitem a associação automática dos objetos com as atividades do cronograma. A regra criada para essa associação exigiu outras adequações no modelo, feitas diretamente no Synchro. Para cada atividade do cronograma, foi necessária a inclusão do código do elemento ao qual ela se refere. O mesmo para cada elemento. Isso porque nem o cronograma nem o modelo foram concebidos usando essas informações (apesar de terem sido enviadas para a projetista conforme Quadro 8).

Para as estacas tubulares, utilizou-se o código E.e.xx, sendo “E” para estacas, “e”, a letra correspondente ao eixo vertical do grid das estacas (B a G), e “xx” os dois dígitos do número correspondente ao eixo vertical do grid das estacas (1 a 40). Exemplo: E.B.01.

Para as estacas prancha tubulares (presentes nas cortinas de contenção frontal e lateral), utilizou-se o código E.PT.yy, sendo “E” para estacas, “PT” para prancha tubular, e yy o entre eixos correspondente. Exemplo: E.PT.0102 ou E.PT.FG.

Para as estacas prancha tipo AZ, utilizou-se o código E.PZ.aa, sendo E para estacas, “PZ” para prancha Z e “aa” o entre eixos correspondente. Exemplo: E.PZ.0102 ou E.PZ.FG.

- a) Importação do cronograma (preferencialmente com as atividades de cravação nomeadas com os nomes dos objetos a elas relacionados, conforme modelo)

No caso das atividades do cronograma, foram incluídos os textos correspondentes após os nomes inicialmente previstos para cada atividade. No caso dos objetos, foi criado um campo de usuário (*user field*) no Synchro, para a inserção dos textos com os nomes dos objetos.

Para o preenchimento, foi utilizada planilha no Microsoft Excel, que permite a edição de diversas células de maneira sequencial (o que não é permitido nem no Microsoft Project nem no Synchro, que só permitem edição individual de linhas). Após criadas as células com todos os nomes de todos os elementos, os

textos foram copiados e colados nas atividades do cronograma e no campo “Cód. Elemento”, ambos no Synchro.

| ESTACAS TUBULARES | | | | | ESTACAS PRANCHA | | ESTACAS COMBI WALL FRONTAL | | | ESTACAS COMBI WALL LATERAL | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--|----------------------------|---------|-----------|----------------------------|---------|---------|
| E.B.01 | E.C.01 | E.D.01 | E.E.01 | E.F.01 | E.PT.0102 | | TUBULARES | PRANCHA | | TUBULARES | PRANCHA | |
| E.B.02 | E.C.02 | E.D.02 | E.E.02 | E.F.02 | E.PT.0102 | | E.PT.0102 | 0102 | E.PZ.0102 | E.PT.FG | FG | E.PZ.FG |
| E.B.03 | E.C.03 | E.D.03 | E.E.03 | E.F.03 | E.PT.0102 | | E.PT.0203 | 0203 | E.PZ.0203 | E.PT.EF | EF | E.PZ.EF |
| E.B.04 | E.C.04 | E.D.04 | E.E.04 | E.F.04 | E.PT.0203 | | E.PT.0304 | 0304 | E.PZ.0304 | E.PT.DE | DE | E.PZ.DE |
| E.B.05 | E.C.05 | E.D.05 | E.E.05 | E.F.05 | E.PT.0203 | | E.PT.0405 | 0405 | E.PZ.0405 | E.PT.CD | CD | E.PZ.CD |
| E.B.06 | E.C.06 | E.D.06 | E.E.06 | E.F.06 | E.PT.0304 | | E.PT.0506 | 0506 | E.PZ.0506 | E.PT.BC | BC | E.PZ.BC |
| E.B.07 | E.C.07 | E.D.07 | E.E.07 | E.F.07 | E.PT.0304 | | E.PT.0607 | 0607 | E.PZ.0607 | E.PT.AB | AB | E.PZ.AB |
| E.B.08 | E.C.08 | E.D.08 | E.E.08 | E.F.08 | E.PT.0405 | | E.PT.0708 | 0708 | E.PZ.0708 | | | |
| E.B.09 | E.C.09 | E.D.09 | E.E.09 | E.F.09 | E.PT.0405 | | E.PT.0809 | 0809 | E.PZ.0809 | | | |
| E.B.10 | E.C.10 | E.D.10 | E.E.10 | E.F.10 | E.PT.0506 | | E.PT.0910 | 0910 | E.PZ.0910 | | | |
| E.B.11 | E.C.11 | E.D.11 | E.E.11 | E.F.11 | E.PT.0506 | | E.PT.1011 | 1011 | E.PZ.1011 | | | |
| E.B.12 | E.C.12 | E.D.12 | E.E.12 | E.F.12 | E.PT.0607 | | E.PT.1112 | 1112 | E.PZ.1112 | | | |
| E.B.13 | E.C.13 | E.D.13 | E.E.13 | E.F.13 | E.PT.0607 | | E.PT.1213 | 1213 | E.PZ.1213 | | | |
| E.B.14 | E.C.14 | E.D.14 | E.E.14 | E.F.14 | E.PT.0708 | | E.PT.1314 | 1314 | E.PZ.1314 | | | |
| E.B.15 | E.C.15 | E.D.15 | E.E.15 | E.F.15 | E.PT.0708 | | E.PT.1415 | 1415 | E.PZ.1415 | | | |
| E.B.16 | E.C.16 | E.D.16 | E.E.16 | E.F.16 | E.PT.0809 | | E.PT.1516 | 1516 | E.PZ.1516 | | | |
| E.B.17 | E.C.17 | E.D.17 | E.E.17 | E.F.17 | E.PT.0809 | | E.PT.1617 | 1617 | E.PZ.1617 | | | |
| E.B.18 | E.C.18 | E.D.18 | E.E.18 | E.F.18 | E.PT.0910 | | E.PT.1718 | 1718 | E.PZ.1718 | | | |
| E.B.19 | E.C.19 | E.D.19 | E.E.19 | E.F.19 | E.PT.0910 | | E.PT.1819 | 1819 | E.PZ.1819 | | | |
| E.B.20 | E.C.20 | E.D.20 | E.E.20 | E.F.20 | E.PT.1011 | | E.PT.1920 | 1920 | E.PZ.1920 | | | |
| E.B.21 | E.C.21 | E.D.21 | E.E.21 | E.F.21 | E.PT.1011 | | E.PT.2021 | 2021 | E.PZ.2021 | | | |
| E.B.22 | E.C.22 | E.D.22 | E.E.22 | E.F.22 | E.PT.1112 | | E.PT.2122 | 2122 | E.PZ.2122 | | | |
| E.B.23 | E.C.23 | E.D.23 | E.E.23 | E.F.23 | E.PT.1112 | | E.PT.2223 | 2223 | E.PZ.2223 | | | |
| E.B.24 | E.C.24 | E.D.24 | E.E.24 | E.F.24 | E.PT.1213 | | E.PT.2324 | 2324 | E.PZ.2324 | | | |
| E.B.25 | E.C.25 | E.D.25 | E.E.25 | E.F.25 | E.PT.1213 | | E.PT.2425 | 2425 | E.PZ.2425 | | | |
| E.B.26 | E.C.26 | E.D.26 | E.E.26 | E.F.26 | E.PT.1314 | | E.PT.2526 | 2526 | E.PZ.2526 | | | |
| E.B.27 | E.C.27 | E.D.27 | E.E.27 | E.F.27 | E.PT.1314 | | E.PT.2627 | 2627 | E.PZ.2627 | | | |
| E.B.28 | E.C.28 | E.D.28 | E.E.28 | E.F.28 | E.PT.1415 | | E.PT.2728 | 2728 | E.PZ.2728 | | | |
| F.R.29 | F.C.29 | F.D.29 | F.E.29 | F.F.29 | F.PT.1415 | | F.PT.2829 | 2829 | F.PZ.2829 | | | |

Figura 18: Planilha eletrônica utilizada para preencher os nomes de cada objeto
Fonte: Autora

| Resources | |
|-------------------------------|--------------|
| Name | Cód.Elemento |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0304 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0405 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0405 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0506 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0506 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0607 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0607 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0708 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0708 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0809 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0809 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0910 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.0910 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1011 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1011 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1112 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1112 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1213 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1213 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1314 |
| ESTACA COMBI-WALL - Ø1219m... | E.PT.1314 |

Figura 19: Códigos dos elementos mapeados no Synchro
Fonte: Autora

| Name |
|--|
| Cravação de estaca prancha - Vão 37 - 36 - E.PT.0506 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 36 - 35 - E.PT.0607 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 35 - 34 - E.PT.0708 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 34 - 33 - E.PT.0809 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 33 - 32 - E.PT.0910 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 32 - 31 - E.PT.1011 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 31 - 30 - E.PT.1112 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 30 - 29 - E.PT.1213 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 29 - 28 - E.PT.1314 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 28 - 27 - E.PT.1415 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 27 - 26 - E.PT.1516 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 26 - 25 - E.PT.1617 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 25 - 24 - E.PT.1718 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 24 - 23 - E.PT.1819 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 23 - 22 - E.PT.1920 |
| Cravação de estaca prancha - Vão 22 - 21 - F.PT.2021 |

Figura 20: Códigos dos elementos nas atividades correspondentes do cronograma
Fonte: Autora

- a) Importação do modelo do bate-estaca (não construir árvore), escalando suas dimensões em relação ao modelo do píer

Para o equipamento (bate estaca, no caso), foi importado um modelo 3D criado no Trimble SketchUp. Para adequação das dimensões, foi necessário fazer os ajustes de escala no próprio software, em uma proporção de 0.05.

- b) Modelagem do nível d'água
c) Modelagem da balsa

Além disso, para a checagem das interferências dinâmicas, é necessário modelar a balsa (60x20x3m, calado de 1,5m), o que foi feito diretamente no Synchro, usando o recurso *Box*.

- d) Criação do recurso balsa/bate estaca

Foi criado um recurso (*resource*) específico para a vinculação ao caminho 3D (3D path).

- e) Modelagem e/ou importação de estruturas existentes (píer, no caso)

Criação de regras para automatching (estacas versus atividades de cravação)
Somente após essas adequações foi possível fazer a conexão automática entre

as linhas do cronograma e os objetos do modelo utilizando o Automatching. Para tanto, foi criada uma nova regra que considerou o nome do elemento (no campo do usuário “cód.elemento” e o nome da atividade, que agora incluiu o código do elemento), conforme visto anteriormente.

Figura 21: Criação de regras para *automatching*
Fonte: Autora

f) Aplicação das regras de automatching

A partir da criação da regra, selecionando as atividades do cronograma e os objetos, bastou rodar a regra para que fossem conectadas as atividades aos elementos, gerando uma primeira versão do planejamento 4D.

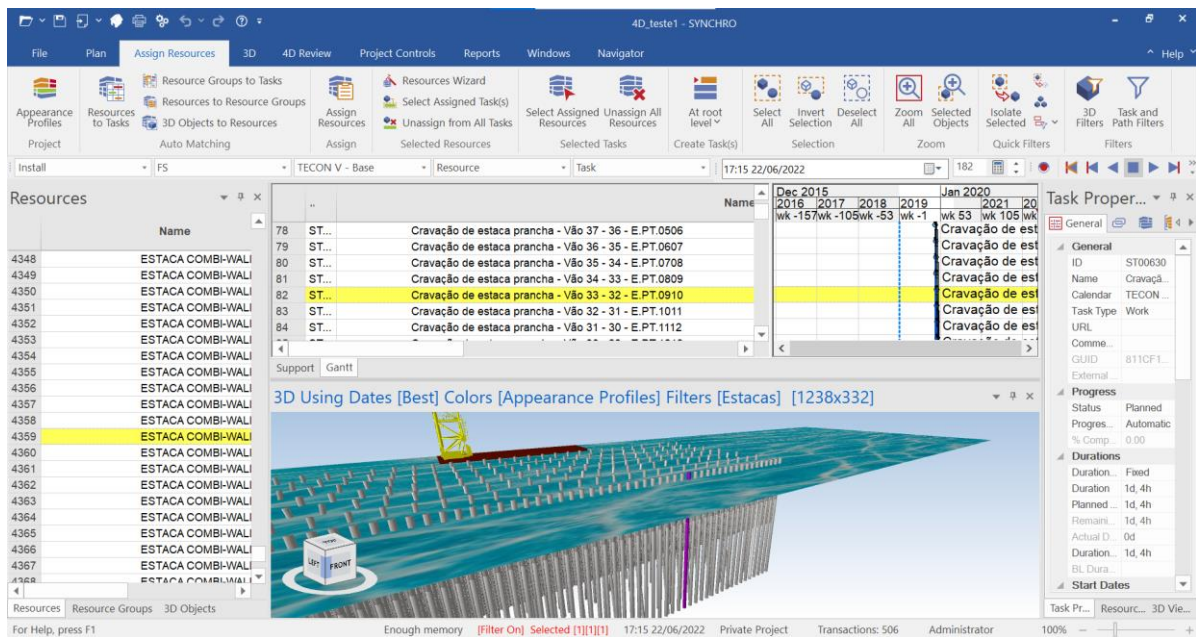


Figura 22: Aplicação das regras de *automatching*, conectando objetos e atividades
 Fonte: Autora

- g) Criação de atividades extras correspondentes aos grupos de estacas que se deseja simular a cravação (com durações correspondentes às das atividades de referência)

Como, para simular o movimento da balsa em animações 4D do Synchro, é necessário o link entre uma tarefa do cronograma e o respectivo recurso (objeto ou grupo de objetos), foram criadas tarefas extras no cronograma, referentes a grupos de movimentos previstos para o bate estaca (Fase 1 e Fase 2, para as primeiras e depois 9 estacas). Isso porque o software não permite a realização de simulações de deslocamento de equipamentos entre tarefas individuais (no caso, cada cravação é uma tarefa individual no cronograma). Portanto, é necessário criar tarefas com a duração total do grupo de estacas cujos caminhos 3D deseja-se simular. Com as tarefas inseridas e prazos ajustados (início da primeira estaca e término da última do grupo considerado), vinculou-se a ela o recurso (balsa) e, na sequência, o caminho 3D ao recurso.

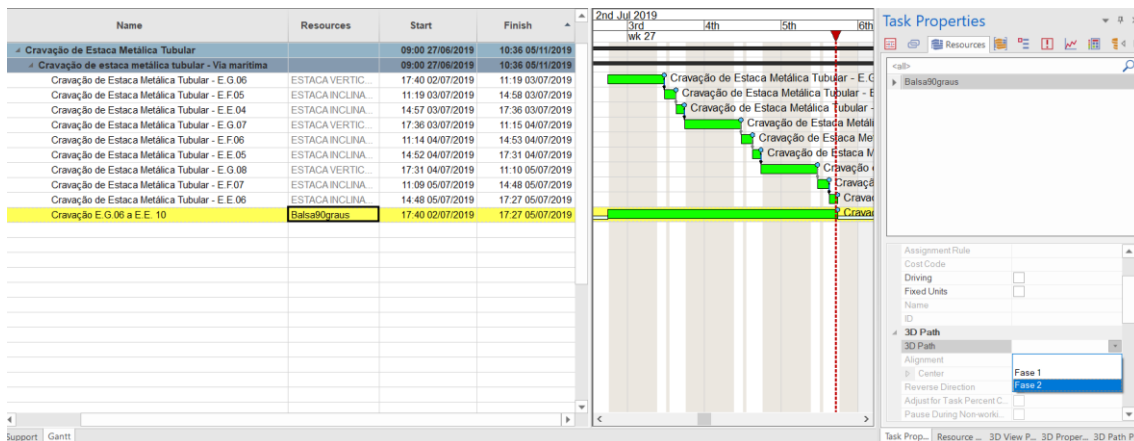


Figura 23: Exemplo de criação de tarefa extra agrupando um conjunto de estacas e atribuição do caminho 3D ao recurso vinculado a ela
 Fonte: Autora

- h) Criação de filtros no Gantt, para facilitar a visualização da atividade extra e suas atividades de referência (cravação das estacas)
- i) Desenho do 3D path

Após a modelagem destes elementos, também é preciso que se desenhe o caminho 3D (3D path) da balsa do bate estaca, de modo que possa ser possível a visualização dos deslocamentos (rotação e translação) desta no decorrer do tempo.

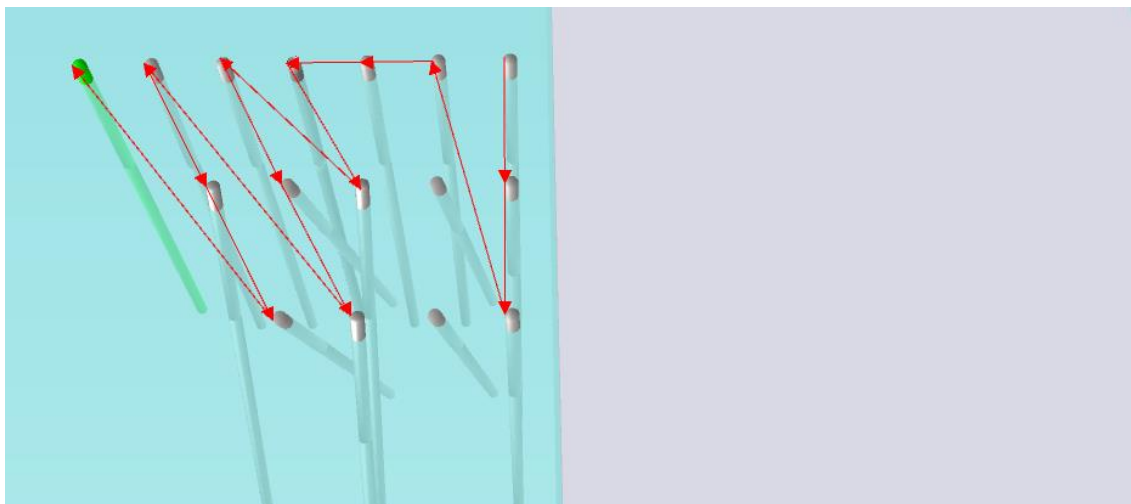


Figura 24: Caminho 3D (3D path) modelado no Synchro
 Fonte: Autora

- j) Vinculação dos recursos (bate estaca + balsa) às atividades extras
- k) Vinculação do recurso ao caminho 3D criado

- l) Checagem do ponto de início do caminho 3D, em relação à posição original do recurso (balsa). Ajustar, se necessário

Automaticamente, o software já determina um keyframe (ponto de partida) inicial e um final, que pode ser observado através de pontos pretos no diagrama de Gantt. Dados os pontos iniciais e finais, criaram-se os pontos intermediários referentes às demais estacas, compatibilizando-os com os tempos/prazos das atividades intermediárias (um keyframe ao início e término de cada atividade).

Criados os todos os pontos, estuda-se a orientação da balsa em cada um deles, verificando-se a ausência de interferências físicas entre as estacas já cravadas e a seguinte.

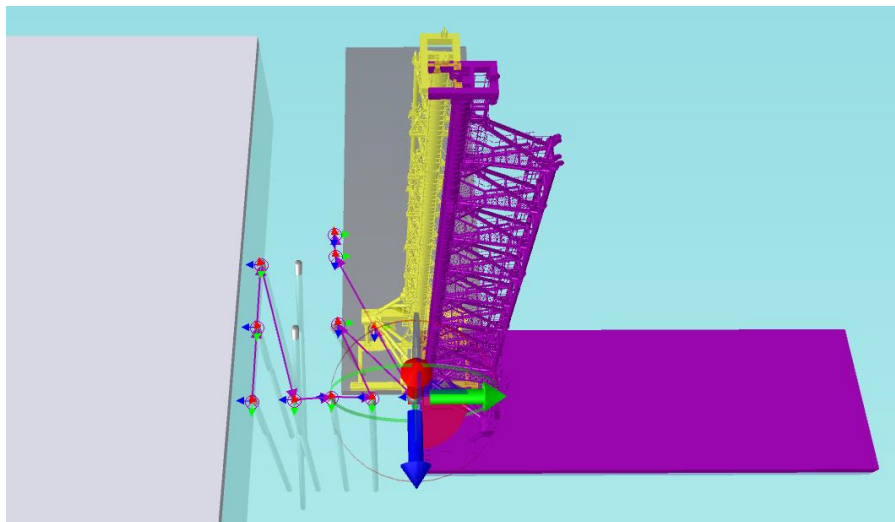


Figura 25: Posições possíveis (em roxo e em cinza/amarelo) para a balsa durante a cravação da EF 04
Fonte: Autora

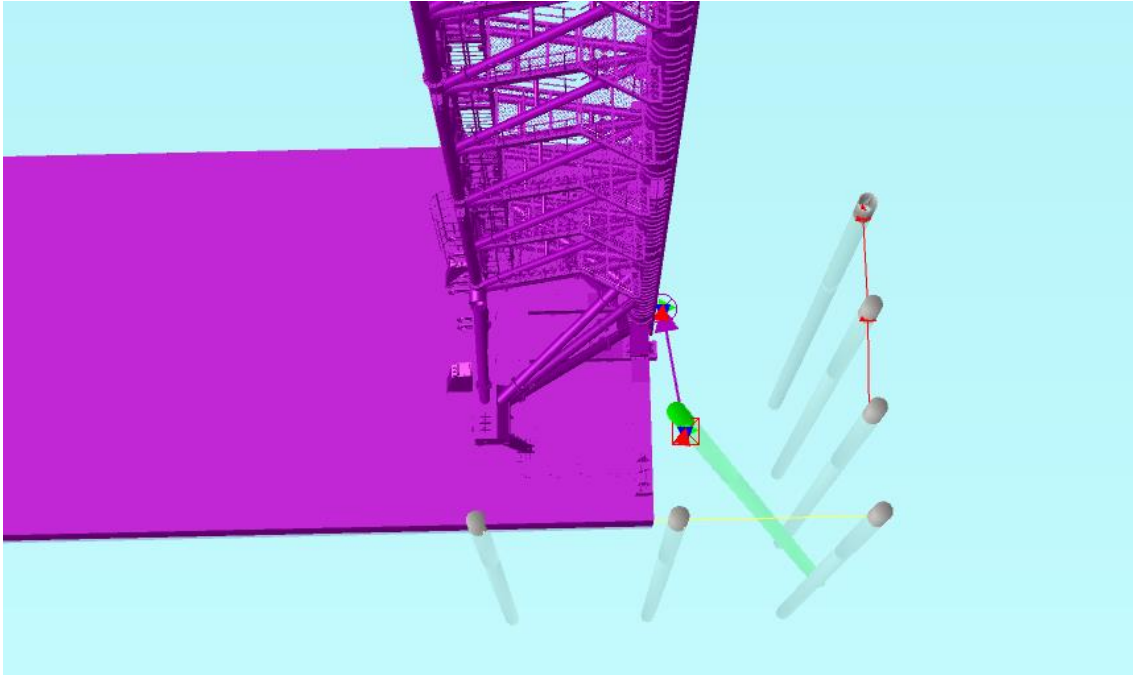


Figura 26: Exemplo de estaca com interferência para cravação
Fonte: Autora

Quando encontradas interferências na cravação, verifica-se a possibilidade de rotacionar a balsa no eixo do bate estaca, de modo a livrá-la, utilizando-se a funcionalidade *Transform* do Synchro, para os keyframes onde há interferência.

5.3.2. Sequência recomendada para a simulação da posição da balsa para cravação de cada uma das estacas (sem mostrar a manobra completa):

- a) Importação do modelo do píer (preferencialmente com a árvore e atributos organizados – estacas nomeadas de maneira padronizada)
- b) Importação do cronograma (preferencialmente com as atividades de cravação nomeadas com os nomes dos objetos a elas relacionados, conforme modelo)
- c) Importação do modelo do bate-estaca (não construir árvore), escalando suas dimensões em relação ao modelo do píer
- d) Modelagem do nível d'água
- e) Modelagem da balsa
- f) Criação do recurso balsa/bate estaca

- g) Modelagem e/ou importação de estruturas existentes (píer, no caso)
- h) Criação de regras para *automatching* (estacas versus atividades de cravação)
- i) Aplicação das regras de *automatching*
- j) Vinculação dos recursos (bate estaca + balsa) a cada uma das atividades de cravação
- k) Verificação da posição da balsa em cada cravação, rotacionando-a ou trasladando-a através do recurso *edit as assigned > transform resource* se necessário

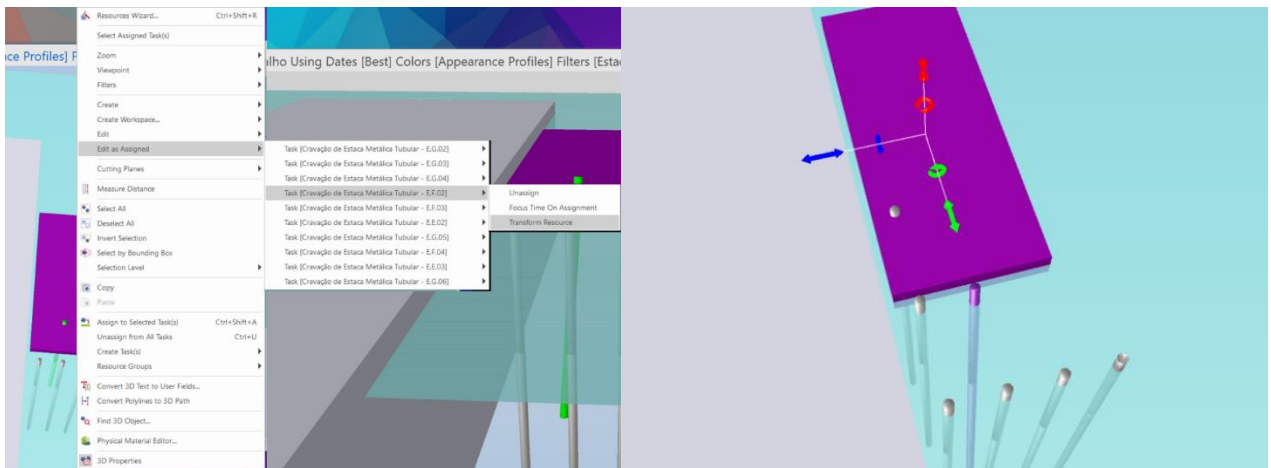


Figura 27: Funcionalidade transform as assigned, usada para deslocar a balsa nos três eixos, testando-a em diferentes posições para evitar interferências

Fonte: Autora

- l) Opcional: exportar vídeo em formato MP4.

Como pode ser visto, além de menos passos, os passos de a) a k) são iguais aos previstos no item 6.3.1.

5.4. Diretrizes para a modelagem BIM para uso nos estudos do planejamento na fase de propostas de obras portuárias

Como consequência do estudo realizado anteriormente, abaixo segue um resumo das diretrizes para o uso do BIM a ser desenvolvida para a realização de estudos relacionados ao cronograma na fase de propostas de obras portuárias (Quadro 9):

Quadro 9: Diretrizes para o uso de BIM para planejamento em propostas técnicas de obras portuárias

| Item | Nível de desenvolvimento | Atributos | Link com cronograma |
|---------|--|---|---|
| Estacas | Modelar conforme dimensões adotadas em projeto | Nomear conforme eixos: E.A1, E.B1, E.C1, E.C2, etc.) | Serão conectadas com o cronograma usando regra de <i>automatching</i> , considerando seu nome e a atividade do cronograma referente a cada objeto |

| Item | Nível de desenvolvimento | Atributos | Link com cronograma |
|------------------------------|--|---|---|
| Capiteis, Lajes pré-moldadas | Modelar conforme dimensões adotadas em projeto. Não serão usados para o sequenciamento das estacas. No entanto, ilustram um detalhamento maior do planejamento | Nomear conforme eixos: Luva: L.A1, L.B1, etc. Lajes pré-moldadas: L.P.AB12, LP.AB23, etc. | Serão conectadas com o cronograma usando regra de <i>automatching</i> , considerando seu nome e a atividade do cronograma referente a cada objeto |
| Bate estaca | Para estudo da sequência de cravação, a torre é somente ilustrativa. Caso se necessite confirmar fabricação das peças e ângulos, modelar também todas as peças da estrutura metálica de sua torre. | Modelar preferencialmente juntos (bate-estaca + balsa). Quando da importação, não construir árvore. | Uma vez modelado junto com a balsa, o bate estaca é conectado às atividades de cravação |
| Balsa | Para estudo da sequência de cravação, modelar com as dimensões comerciais a serem adotadas. Considerar o calado da embarcação, colocando-o abaixo do nível d'água. | Nomear de forma que se possa identificar o recurso | Deve ser realizado link entre o objeto e todas as atividades de cravação de estacas previstas no cronograma, posicionando corretamente (isto é, rotacionando o conjunto buscando eliminar |

| | | | interferências) para cada cravação |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Nível d'água | Modelar plano no nível d'água adotado em projeto | - | Não será realizado link entre o objeto e o cronograma. |
| Acessórios (ganchos, cabeços, etc.) | Apenas ilustrativos. Para o estudo de planejamento, dimensões aproximadas atendem | - | Serão conectadas com o cronograma usando regra de <i>automatching</i> , considerando seu nome e a atividade do cronograma referente a cada objeto |
| Item | Nível de desenvolvimento | Atributos | Link com cronograma |
| Cronograma | Para o estudo do sequenciamento, considerar uma atividade para cada cravação de estaca. Realizar o link destas atividades aos objetos (estacas e balsa) | Os nomes das atividades devem condizer com os objetos do projeto aos quais elas se referem (E.A1, L.P. AB12, etc.) | - |
| Planejamento 4D | Preferencialmente, no vídeo final, demonstrar todo o movimento da balsa de uma posição de cravação à outra. Não mostrar somente a balsa aparecendo em cada posição de cravação. | - | - |

Fonte: Autora

Uma relação entre os entregáveis desejados na etapa de proposta e diferentes níveis de desenvolvimento de modelos BIM pode ser vista no Quadro 10:

Quadro 10: Possíveis entregáveis segundo o tipo de material gerado (2D, macromodelo e modelo executivo)

| Entregável de proposta | 2D | Modelagem macro | Modelagem executiva |
|-------------------------------|----|-----------------|---------------------|
| 1. Conferência de quantidades | N | S | S |
| 2. Layout da fábrica | N | S | S |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | (com área restrita para armação de espera das peças) | |
| 3. Estudo dos estoques | N | S | S |
| 4. Lançamentos (PMs) | N | S | S |
| 5. Estudo de manobras (fábrica e balsas) | N | S | S |
| 6. Confirmação do comprimento da torre do bate estaca para os içamentos + ângulo de trabalho | Sob influência do número de vistas que se tem do projeto | Ideias superficiais e rápidas das necessidades para adequações | Confirmação de reformas, trocas de peças, comprimentos, quantidades |
| 7. Confirmação da sequência de cravação | N | S | S |
| 8. Confirmação da cravabilidade das estacas | N | S | S |

Fonte: Autora

6. AVALIAÇÃO DO ARTEFATO E EXPLICITAÇÃO DAS APRENDIZAGENS

6.1. Avaliação

Neste subitem, procurou-se avaliar, sob o ponto de vista da autora e de entrevistados da empresa objeto do estudo, os resultados provenientes dos testes aqui realizados.

6.1.1. Feedbacks via entrevistas:

Imagens do modelo e o vídeo completo da simulação da cravação foram enviados para a avaliação de um gerente de propostas à época do início da pesquisa (hoje diretor de contrato) e para o desenhista-projetista da empresa. Eles foram escolhidos para dar suas opiniões sobre o material realizado, pois ambos são engenheiros civis com alta experiência em estudos e execução deste tipo de obra (mais de 30 anos, no caso do gerente e mais de 8 anos no caso do desenhista-projetista). No vídeo, mostra-se a balsa em cada uma das posições para as primeiras 14 estacas do projeto. A partir deste ponto, a sequência é repetitiva, ou seja, permanece a mesma até o final da linha de cravação. Em entrevista realizada após a avaliação do vídeo, foram pontuados:

Confiabilidade e aproveitamento do modelo 3D para outros estudos:

O modelo desenvolvido foi bastante útil para a visualização e o entendimento do projeto, assim como para a simulação 4D. Por estar em um nível de desenvolvimento alto (>300), pôde-se ter confiabilidade nas informações apresentadas.

Em entrevista realizada com o desenhista-projetista da empresa foi ressaltado que, a partir do modelo elaborado, outros estudos em 3D podem ser realizados utilizando-se dos mesmos elementos, de maneira mais célere e com menor nível de incertezas, a saber: estudos de logística (área necessária para estoque na fábrica de pré-moldados, empilhamento de peças, acessos, e canteiro) e movimentação de peças e equipamentos (da fábrica para o transporte em caminhões e, destes, para a balsa que as transportará offshore e, finalmente, da balsa para o posicionamento final, com o guindaste). Esses estudos seriam feitos em menor tempo do que utilizando-se de representações 2D.

Melhor entendimento e comunicação do projeto:

No viés comunicativo, o gerente aponta que o Owner consegue perceber facilmente que a empresa estudou, no detalhe, o projeto em questão, o que dá a ela uma melhor imagem perante o cliente, que, por sua vez, toma decisões mais seguras e embasadas. Apesar de a sequência de cravação ser estudada estaca a estaca pela empresa, por ser em 2D, muitas vezes o cliente não consegue captar esse valor, por não ter entendimento claro de cada uma das etapas. Além disso, uma vez vencida a licitação, pode-se “discutir com o mestre de cravação e com a equipe que vai executar no futuro, mostrando como deve ser feito, mostrar as manobras que foram planejadas, de maneira a tentar otimizar, mas eles já teriam uma visão de onde saiu. Isso facilitaria, inclusive, na detecção de desvios de execução em campo”. Essa capacidade de nivelar o entendimento também é citada por ele como parte de “fazer todos terem um entendimento da sequência de cravação e do projeto de uma maneira muito mais rápida (...). Nada como todo mundo ter a mesma informação de uma maneira rápida, fácil e inteligente”.

Melhor visualização de interferências:

Realizar a verificação em 3D permite ao planejador rotacionar e avaliar, por diversos ângulos, se há alguma interferência, sobretudo quando se tem estacas

inclinadas (não cravadas na posição vertical), situação que dificulta sobremaneira a visualização. Ele ainda comenta: “o entendimento é muito mais fácil quando você consegue ver a balsa posicionada em três dimensões. O desenhista-projetista também afirma que elimina a necessidade da execução de diversos cortes, que seriam necessários caso o estudo fosse realizado em CAD 2D.

Diminuição do tempo necessário para o estudo:

O gerente aponta que o estudo da sequência de cravação em 2D leva um tempo considerável pois é feito em tentativa e erro, exigindo não somente experiência, mas também recomeçar do início quando se encontram interferência na sequência que está sendo avaliada, o que leva ainda mais tempo. Se existe alguma interferência, você entende imediatamente que aquele posicionamento está equivocado”.

A autora acrescenta que possibilidade de elaborar e/ou editar o cronograma na própria ferramenta permite testar (sem a necessidade de um software de planejamento como MS Project ou Oracle Primavera P6) as diferentes possibilidades da sequência de cravação, reduzindo substancialmente o tempo para simular os cenários.

Apesar de não ter sido possível, durante esse estudo, realizar o teste durante a elaboração de uma proposta em curso pela empresa, a percepção do gerente foi a de que é “mais rápido fazer no modelo do que ficar anotando, manualmente, a sequência dessas estacas”.

Diminuição do custo do estudo:

O gerente ainda aponta que a verificação em 2D exige que seja realizada por um profissional mais experiente (e, portanto, de custo horário maior). Já com o uso do modelo, essa verificação visual das interferências pode ser feita por um profissional de nível técnico, diminuindo também o custo do próprio estudo em si.

Aumento da qualidade do estudo:

Outro ponto colocado pelo gerente é o nível de precisão gerado pelo modelo, sendo possível “medir a distância efetivamente e ver (...) se é segura, o que é

uma vantagem importante, porque, no olho, muitas vezes você acha que está longe, mas não está tão longe assim. Você acha que está perto, e não está tão perto assim”.

6.1.2. Comparação da simulação ponto a ponto *versus* simulação com todo o caminho 3D:

Acerca da utilização do Synchro e a avaliação das duas formas de simular o deslocamento da balsa, verificou-se que o desenvolvimento do caminho 3D toma mais tempo do que a simulação apenas ponto a ponto, pois é necessária a criação de atividades extras e o software ainda exige a criação de keyframes que precisam ser adaptados manualmente para que coincidam (temporalmente) com o final de cada atividade.

Assim, a opção de realizar a simulação utilizando apenas o ponto de cada cravação mostrou-se mais vantajosa em termos de tempo requerido para execução da simulação, pois são realizadas menos etapas se comparada à opção de realizar todo caminho 3D. Isso porque, quando da execução das atividades em campo, são admitidos ajustes para o deslocamento da balsa entre uma estaca e a próxima. Assim, qualquer simulação desse deslocamento não será garantia de que assim será executado em campo. O gerente responsável pela realização dos estudos de propostas portuárias da empresa aponta que o supervisor ou mestre de cravação, para o deslocamento da balsa entre uma estaca e outra, tem a autonomia (e responsabilidade) de desviar das estacas já cravadas. Sendo assim, em suas palavras: “o necessário é o bate estaca parado na posição de cravação para ver se aí não choca com nada, porque isso sim, seria impeditivo, podendo requerer uma manobra que muda o prazo de cravação. E se isso acontecer muitas vezes, pode até impactar significativamente no prazo da obra como um todo”.

No entanto, o visual mais detalhado proveniente do uso de todo o caminho 3D, segundo ele, é a facilitação da comunicação, principalmente com o cliente final, que costuma ter um conhecimento detalhado da operação do píer, mas por vezes tem dificuldade de compreender o porquê de a obra ser sequenciada de determinada maneira. O resumo da comparação entre os dois métodos pode ser visto no Quadro 11:

Quadro 11: Resumo da comparação entre os métodos

| Item | Simulação completa | Ponto a ponto |
|------------------------------------|--|---|
| Número de etapas | 13 | 8 |
| Tempo para elaboração da simulação | Alto (ativ. extras, caminho 3D, keyframes, ajustes) | Médio (ativ. extras, caminho 3D, keyframes, ajustes) |
| Detecção de interferências | Fácil | Fácil |
| Transmissão de conhecimento | Alta | Média |

Fonte: Autora

6.1.3. Parâmetros atribuídos aos elementos e regras para o link entre atividades e elementos:

O uso dos campos de usuário (user field) no Synchro se mostrou útil para a adequação do modelo sem a necessidade de revisão pela projetista. No entanto, recomenda-se que as informações neles descritas sejam objeto, por exemplo, do Nível Necessário da Informação, caso o objetivo seja o uso do modelo para planejamento como aqui descrito. Desta forma, o parâmetro pode ser criado no software de autoria, evitando a inserção de informações posterior.

Percebeu-se que a criação de parâmetros detalhados para as estacas (nomenclatura usando os eixos longitudinais e transversais), exige que as atividades do cronograma sejam nomeadas usando o mesmo padrão. Se esse for o método de descrição das atividades na elaboração do cronograma, será possível usar a regra no formato aqui descrito. Caso seja necessário usar o Activity ID do cronograma na regra de atribuição dos elementos às atividades, a metodologia aqui descrita necessitará adequações para que o link considere esse parâmetro. É importante mencionar que, caso o planejamento seja detalhado, as estacas podem estar relacionadas a outras atividades do cronograma, não somente as de cravação, como por exemplo o arrasamento. Assim, utilizar o Activity ID permitirá que os elementos sejam atribuídos somente a uma atividade (numa relação 1:1), enquanto usar outros parâmetros (como o nome do elemento no objeto e na atividade do cronograma) permite que sejam criadas relações 1:n e/ou n:1.

6.1.4. Softwares e versão do IFC utilizada

No presente momento, o Autodesk Revit se mostrou adequado para a modelagem deste tipo de projeto, dado que foi possível realizar as análises no Synchro com poucas adequações e com o uso do IfcExportAs. O ifc 2x3, apesar de não comportar alguns tipos de elementos e suas especificidades (estacas pré-moldadas, por exemplo), está em desenvolvimento e pode ser incluído já na próxima versão 4.3.

6.1.5. Outras oportunidades não exploradas:

Recursos como a importação da polyline diretamente do CAD podem facilitar a construção do caminho 3D. No entanto, ainda deve ser verificada a possibilidade de desenvolver scripts para a criação dos keyframes de maneira automática, conforme duração das estacas. No caso deste estudo, foi necessário ajustar uma a uma, manualmente, o que tomou tempo, ativo valioso na elaboração das propostas. Além disso, seria necessário verificar com os fabricantes do software a possibilidade de inserir um caminho 3D não somente em uma única atividade, mas entre atividades, eliminando a necessidade de criar atividades extras, também manualmente. O teste com a versão 4.3 do ifc também deve ser realizado, buscando identificar possíveis oportunidades de melhoria.

6.2. Explicação das aprendizagens

Os principais aprendizados são listados no Quadro 12:

Quadro 12: Resumo do desempenho do modelo quanto aos critérios estabelecidos

| Critério | Desempenho inicial (antes da aplicação) | Desempenho mensurado (na aplicação) | Atendeu às expectativas? (Sim / Não) |
|-----------------|--|---|---|
| Modelagem 3D | Contratação de projeto em 2D, realização de cortes pela construtora em diversas posições para confirmar adequação e layout da fábrica de pré-moldados, área de estoque, manobras dos equipamentos e estudos de logística (tombamento e içamento de peças). | Elaboração de modelo 3D permite visualização e entendimento mais fácil do projeto, bem como realizar estudos adicionais, de logística e canteiro, por exemplo. Permite, ainda, a construção de bibliotecas de objetos que dão celeridade a estudos futuros. | Sim |
| Riscos | Ad hoc, pela empresa construtora. Riscos mapeados de maneira macro. | Redução dos riscos relativos à execução das atividades em campo, | - |

| | | | |
|--------------|---|---|-----|
| | | por uma melhor comunicação do projeto por diversos stakeholders | |
| Planejamento | Sequência de cravação determinada manualmente, através de impressão em papel do layout das estacas em planta, e balsa em escala para verificação de interferências. A sequência era anotada em planilha em MS Excel, que calculava o tempo de manobra da balsa entre uma estaca e outra | Geração de sequenciamento de cravação de maneira quase intuitiva. Facilidade na detecção de interferências entre balsa e estacas já cravadas e estruturas existentes. Comunicação facilitada com cliente e equipe do projeto. Menor custo de desenvolvimento do estudo. | Sim |

Fonte: Autora

7. CONCLUSÕES

O processo de elaboração de propostas é, de forma geral, sujeito à experiência prévia dos envolvidos no tipo de obra estudado, o que pode levar a escolhas não tão ótimas em termos de custo final (que é, ainda, o principal critério avaliado pelo cliente final). Além disso, o prazo de poucos meses para a realização de todas as análises de engenharia, planejamento, composições dos custos e precificação torna o cenário ainda mais desafiador. Resulta, portanto, que o processo envolve variadas tomadas de decisão em ambiente de múltiplas incertezas que podem acarretar ou a perda do certame pela construtora, ou então, em imprevistos que podem encarecer a obra durante sua execução. Assim, utilizar abordagens que busquem não somente identificar, mas também mitigar os riscos de maneira ágil nesta etapa do projeto mostram-se relevantes.

Através deste estudo, buscou-se mapear como o BIM pode ser usado para as propostas de obras de infraestrutura portuária, através do desenvolvimento de diretrizes de modelagem para a elaboração de um modelo 3D que também pudesse ser utilizado para simulação 4D, dado que o planejamento (sobretudo da cravação das estacas) é uma atividade representativa tanto em termos de custos quanto de riscos.

Observou-se que realizar a modelagem não somente permite a todos os envolvidos terem um melhor entendimento do projeto em si, mas também possibilita outros estudos, antes realizados em 2D, por exemplo: logística e transferência das peças entre caminhões e balsas, manobras desses equipamentos, cálculo de áreas de estoque de maneira mais precisa e visualização de interferências no içamentos dos pré-moldados (da balsa até a posição final). Outro ponto valioso da modelagem 3D é a possibilidade da

construção de uma biblioteca de objetos que, estudo a estudo, pode não somente ser utilizada, mas também complementada, gerando mais conhecimento e possibilidades de gerar uma variedade maior cenários em menor tempo para a construtora que adote a prática.

Também pode-se pontuar a facilidade que se tem de comunicar a solução para o cliente e para a própria equipe do projeto, que, por vezes, tem dificuldade de entender o projeto (impedindo-os, portanto, de contribuir com seu conhecimento). Essa facilitação permitiria, inclusive, o levantamento de riscos por stakeholders que têm essa dificuldade de interpretar o projeto em 2D.

Em relação ao uso da simulação do planejamento, o modelo elaborado com o layout das estacas mostrou-se satisfatório para o estudo da sequência de cravação e das manobras da balsa. A simulação foi feita de duas formas: demonstrando todo o deslocamento da balsa entre uma estaca e outra, e a balsa aparecendo em cada posição de cravação. A primeira simulação mostrou-se valiosa para comunicar melhor a sequência de cravação, já que a balsa fica presente no vídeo durante todo o tempo. No entanto, realizar essa simulação levou um tempo maior em relação à segunda, que se mostrou suficientemente adequada também, sendo esta, por seu menor tempo de execução e menos etapas a serem realizadas, mais indicada para uso em propostas de obras portuárias. Com ela, foi possível simular facilmente as interferências entre a balsa e estruturas existentes (cais e outras estacas já cravadas), atividade essa muito mais efetiva se comparada à realização utilizando impressão da planta do layout das estacas e a balsa em escala, e testando, manualmente, sequências diversas de cravação.

Uma limitação encontrada durante o estudo foi a impossibilidade de testar as referidas diretrizes durante um processo real de elaboração de proposta. Isso permitiria verificar a adequação das diretrizes e sua efetividade dentro do prazo necessário para cada entregável.

Apesar de este estudo estar focado no cenário de elaboração de propostas de uma única empresa, o desenvolvimento de estudos técnicos para licitação tem desafios comuns a todas as empresas. O planejamento de obras de infraestrutura, de forma geral, é complexo e envolve incertezas consideráveis

quando da elaboração da proposta técnica, sendo sua estratégia consideravelmente dependente da experiência do time envolvido. Assim, de maneira não só a mapear e mitigar riscos, mas a comunicar mais facilmente a solução pensada tanto para o cliente quanto para demais envolvidos no processo licitatório, podem ser inúmeros os beneficiados pela adoção de estudos de planejamento em BIM nesta fase do ciclo de vida dos ativos, qualquer que seja o tipo de obra.

O estudo do posicionamento dos equipamentos é bastante peculiar em obras offshore, pois tem-se uma maior concentração de estacas neste tipo de obra do que em obras onshore (as quais podem contar com outras soluções de engenharia para suas fundações). Além das obras portuárias, nas obras onshore que apresentem canteiros exíguos é necessário colocar atenção e planejar detalhadamente a posição dos equipamentos, sob o risco de atrasos na execução dos trabalhos em campo por falta de espaço físico ou interferências com estruturas existentes.

O método utilizado para a realização deste estudo e aprendizagens também pode ser generalizado para diversos tipos de obra de infraestrutura, nas quais o BIM não se apresenta consolidado. As entrevistas com especialistas para mapeamento do processo e seus problemas se mostrou efetiva para buscar oportunidades para modelos BIM com o objetivo de propor soluções para problemas típicos da fase estudada, e podem ser usadas para mapear e testar oportunidades de BIM em outras fases do ciclo de vida de diferentes projetos.

Uma possibilidade futura a ser explorada é utilizar scripts ou algoritmos (como por exemplo os de força bruta ou grafos) para determinar a sequência ótima de cravação das estacas. Partindo-se do princípio de que cada tipo de manobra da balsa leva um determinado tempo e considerando-se que sequências onde a balsa colide com as estacas já cravadas são impraticáveis, o algoritmo pode determinar qual é a melhor sequência possível (a de menor tempo, portanto) dado um determinado layout das estacas do píer, o que permitiria não somente um menor tempo testando cenários, como também uma maior confiabilidade na solução adotada.

Trechos desta dissertação foram objetos de publicação em Corrêa et al. (2019) e em Corrêa e Santos (2020). Um terceiro artigo sobre o tema BIM e gestão corporativa de riscos está também previsto para publicação.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Z.; THAHEEM, M. J.; MAQSOOM, A. Building information modeling as a risk transformer: An evolutionary insight into the project uncertainty.

Automation in Construction, Holanda, v. 92, p. 103–119, 2018.

AL-MASHTA, S.; ALKASS, S. Integrated cost budgeting and estimating model for building projects. *In*: AACE INTERNATIONAL TRANSACTIONS, 2010.

Anais [...]. Atlanta. 2010. p. 22-26. Disponível em:

<[https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78649254835&partnerID=40&md5=e3f2e7b7d0d77417fa3a21ac003c7b73)

[78649254835&partnerID=40&md5=e3f2e7b7d0d77417fa3a21ac003c7b73](https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78649254835&partnerID=40&md5=e3f2e7b7d0d77417fa3a21ac003c7b73)>,

2010. Acesso em: 21 jun. 2019.

ARAM, S.; EASTMAN, C.; BEETZ, J. Qualitative and Quantitative Cost Estimation : A Methodology Analysis. *In*: COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando. **Proceedings** [...]. Orlando. ASCE, 2014. p. 381-389.

ARAM, S.; EASTMAN, C.; SACKS, R. A knowledge-based framework for quantity takeoff and cost estimation in the AEC industry using BIM. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, 31., 2014, Austrália. **Proceedings** [...]. Austrália, 2014. p. 434-442. Disponível em:

[https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84912557611&partnerID=40&md5=224712c112c40be2bb32f6fe33c16abb)

[84912557611&partnerID=40&md5=224712c112c40be2bb32f6fe33c16abb](https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84912557611&partnerID=40&md5=224712c112c40be2bb32f6fe33c16abb).

Acesso em: 28 dez. 2019.

ASLESEN, S. KRISTENSEN, E.; SCHANCHE, H.; HEEN, P.I. Winning the Bid – A Step-Wise Approach Using BIM to Reduce Uncertainty in Construction Bidding. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 26., 2018, India. **Proceedings** [...]. IGLC, 2018, p. 68-78.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650 - Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro, 2022. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650 - Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 2: Fase de entrega de ativos**. Rio de Janeiro, 2022. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000 - Gestão de Riscos: Princípios e diretrizes**. Rio de Janeiro, 2009. 32 p.

ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING. **Prática Recomendada nº 17R-97: Sistema de classificação para estimativa de custos**. Estados Unidos, 2011. 10 p. Disponível em: <<http://brasil-acei.org/wp-content/uploads/2016/09/17R-97-Sistema-de-Classificacao-para-Estimativa-de-Custos.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

BANSAL, V. K. Use of GIS and Topology in the Identification and Resolution of Space Conflicts. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 25, n. 2, p. 159-171, 2011.

BANSAL, V. K. Use of GIS to consider spatial aspects in construction planning process. **International Journal of Construction Management**, v. 20, n. 3, p. 207-222, 2018.

BANSAL, V. K.; PAL, M. Construction projects scheduling using GIS tools. **International Journal of Construction Management**, v. 11, n. 1, p. 1-18, 2011.

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C.T.; BULHÕES, I.R.. Application of BIM for supporting decision-making related to logistics in prefabricated building systems. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 25., 2017, Grécia. **Proceedings [...]**. IGLC, 2., 2017, p. 71-78. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029599758&doi=10.24928%2F2017%2F0278&partnerID=40&md5=f3ba1eb5501fadb437aa1c9aeb9548a7>. Acesso em: 28 dez. 2019

BERARD, O.; KARLSHOEJ, J. Information delivery manuals to integrate building product information into design. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, p. 64–74, 2012.

BJÖRK, B. Electronic Document Management in Construction: Research Issues and Results. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 8, n. May, p. 105–117, 2003.

BOTON, C.; KUBICKI, S.; HALIN, G. Designing adapted visualization for collaborative 4D applications. **Automation in Construction**, Holanda, v. 36, p. 152–167, 2013.

BRASIL. Decreto 9.983

BRASIL. **Sistema Portuário Nacional**. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/sistema-portuario.html>. Acesso em: 19 out. 2019.

BRASIL, Ministério da Indústria. Comércio Exterior e Serviços. **Building Information Modelling - BIM**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/index.php/competitividade-industrial/ce-bim>. Acesso em: 7 jan. 2019.

BRASIL. Lei n. 14.133/2021, de 1º de abril de 2021. Estabelece normas gerais de licitação e contratação. **Diário Oficial da União**: seção 1 - extra F, Brasília, DF, p. 1-23, 1 abr. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.133-de-1-de-abril-de-2021-311876884>. Acesso em: 22 fev. 2023

BUILDING SMART INTERNATIONAL – BSI. **Information Delivery Specifications (IDS)**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specifications-ids/>. Acesso em 12 jun. 2023.

CANDELARIO-GARRIDO, A.; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J.; REYES RODRÍGUEZ, A. M. A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects. **Sustainable Cities and Society**, v. 35, p. 378–384, 2017.

CASTRONOVO, F.; LEE, S.; NIKOLIC, D.; MESSNER, J. I. Visualization in 4D construction management software: A review of standards and guidelines. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING. **Proceedings** [...]. American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014, p. 315-322. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

84934283999&doi=10.1061%2F9780784413616.040&partnerID=40&md5=ca37ca8dfd9c1e857ac78a42ce27d3df. Acesso em: 28 dez. 2019

CHANG, C.-Y. Harnessing BIM data in the management of project risks: The Bayesian risk-bearing capacity approach. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART INFRASTRUCTURE AND CONSTRUCTION*, 2016, Cambridge. **Proceedings** [...]. Cambridge: ICE Publishing, 2016 p. 537-542. Disponível em: [https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84987597458&doi=10.1680%2Ftfitsi.61279.537&partnerID=40&md5=1c43ac3809e051f3aafa3624dafd62ed)

84987597458&doi=10.1680%2Ftfitsi.61279.537&partnerID=40&md5=1c43ac3809e051f3aafa3624dafd62ed. Acesso em: 28 dez. 2019.

CHANG, H. K.; YU, W. D.; CHENG, S. T. A risk-based Critical Path Scheduling Method (II): A visual approach system using BIM. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION*. 34., 2017, Taiwan. **Proceedings** [...]. Finlândia: IAARC, 2017, p. 527-535.

Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85032338171&partnerID=40&md5=8528caa6961b77b6931b3ce23bb4c254>. Acesso em: 28 dez. 2019

CHENG, M.-Y.; CHANG, N.-W. Dynamic construction material layout planning optimization model by integrating 4D BIM. **Engineering With Computers**, v. 35, n. 2, p. 703–720, 2019.

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

CHOE, S.; LEITE, F. Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration. **Automation in Construction**, Holanda, v. 84, p. 335–344, 2017.

CHOI, B. et al. Framework for Work-Space Planning Using Four-Dimensional BIM in Construction Projects. **Journal Of Construction Engineering And Management**, v. 140, n. 9, 2014.

CHOU, H.-Y.; YANG, J.-B. Preliminary Evaluation of BIM-based Approaches for Schedule Delay Analysis. *In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, Praga. **Proceedings** [...]. Bristol: IOP Publishing, 2017, p. 1-

9. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85033802504&doi=10.1088%2F1757-899X%2F245%2F6%2F062048&partnerID=40&md5=60abd70a8abd9748c90290c6b7566941> . Acesso em 28 dez. 2019.

CIRIBINI, A. L. C.; BOLPAGNI, M.; OLIVERI, E. An Innovative Approach to e-public Tendering Based on Model Checking. **Procedia Economics and Finance**, v. 21, n. 15, p. 32–39, 2015.

COLLINS, J.; GENTRY, R. KBAD Knowledge Base for Architectural Detailing, VOL 2. *In: Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 2017, Roma. Proceedings [...].* Roma: ECAADE, 2., 2017, p. 657-666. Disponível em: http://ecaade.org/downloads/ecaade2017_volume2_screen.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

COSO - COMMITTEE OF SPONSORING ORGANISATIONS OF THE TREADWAY COMMISSION. **Gerenciamento de Riscos Corporativos - Estrutura Integrada: Sumário Executivo e Estrutura.** PricewaterhouseCoopers, 2007, 135 p.

CORREA, S. L. M; SANTOS, E. T. BIM support in the tendering phase of infrastructure projects. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2020, Suíça. Proceedings [...].* Suíça: Springer, 2020, p. 383-392.

CORREA, S. L. M; SIVIERO, L. F.; FREITAS, R. O.; CORREA, F. R.; SANTOS, E. T. BIM para infraestrutura de transportes. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. Anais [...].* Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: <https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/180>. Acesso em 23 fev. 2023.

CROWTHER, J.; AJAYI, S. O. Impacts of 4D BIM on construction project performance. **International Journal of Construction Management**, Reino Unido, p. 724-737, 2019.

DE VARGAS, F. B.; BATAGLIN, F. S.; FORMOSO, C. T. Guidelines to develop

a BIM model focused on construction planning and control. *In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 26., 2018, Chennai. **Proceedings** [...]. The International Group for Lean Construction, 2018, p. 744-753. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85056790911&doi=10.24928%2F2018%2F0450&partnerID=40&md5=9a000b7e530f8c0b404adfe7ee228cb4>. Acesso em: 28 dez. 2019.

DODGE DATA & ANALYTICS. **Managing Risk in the Construction Industry**. Bedford, Estados Unidos: DODGE DATA ANALYTICS, 2017. 64 p. Disponível em: https://www.balfourbeattyus.com/Balfour-dev.allata.com/media/content-media/pdfs/1116SMR_Risk_BB.PDF. Acesso em: 28 dez. 2019

DOUMBOUYA, L.; GUAN, C. S.; GAO, G; PAN; Y. Application of BIM technology in design and construction: A case study of pharmaceutical industrial base of amino acid building project. *In: ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT*, 16., 2017, Letônia. **Proceedings** [...]. Letônia: Latvia University of Agriculture, 2017, p. 1495-1502. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85033398910&doi=10.22616%2FERDev2017.16.N338&partnerID=40&md5=aa4e85bf9cbac5a14fcd48e44bdbd4cf>. Acesso em: 28 dez. 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR.; J. A. V. **Design Science Research**: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. 204 p.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook - A guide to Building Information Modeling**. 2nd. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FERRARI, R; TORRES, C.; GOMES, C.; ALVES, G. Modelo de Classes de Orçamento em Projetos de Engenharia. *In: ENCONTRO ANUAL DA AACE BRASIL*, 5., 2017, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: AACE, 2017, p. 1-16.

GANBAT, T. CHONG. H.; LIAO, P.; WU, Y. A Bibliometric Review on Risk Management and Building Information Modeling for International Construction. **Advances in Civil Engineering**, Reino Unido: Hindawi, 18., 2018, p; 1-13. Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/journals/ace/2018/8351679.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2023.

HAIATI, O.; VON HEYL, J.; SCHMALZ, S. BIM and sequence simulation in structural work - Development of a procedure for automation. *In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION*, 24., 2016, Boston. **Proceedings** [...]. IGLC, 2016, p. 73-82. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84995900440&partnerID=40&md5=4f61089370eec57be80edfe22872cbac>. Acesso em: 28 dez. 2019.

INSTITUTE OF RISK MANAGEMENT. **Managing Cost Risk and Uncertainty in Infrastructure Projects**. Londres: IRM, 2013, 72 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 3: Operational phase of the assets**. Genebra, 2022, 30 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 4: Information exchange**. Genebra, 2022, 12 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 5: Security-minded approach to information management**. Genebra, 2022, 28 p.

JANG, S.; JEONG, Y; LEE, G; KANG, Y. Enhancing Subcontractors' Participation in BIM-Based Design Coordination under a DBB Contract. **Journal of Management in Engineering**, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2019.

JENSEN, P. **The use of Building Information Modeling in generating hard-bid estimates**. 2011. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – School of Technology, Brigham Young University, Estados Unidos, 2011.

JI, Y.; LEITE, F. Automated tower crane planning: leveraging 4-dimensional BIM and rule-based checking. **Automation in Construction**, Holanda, v. 93, p. 78-90, 2018.

KAUR, R. Disponível em:

<https://www.instagram.com/p/CgQk8zissQ2/?igshid=YmMyMTA2M2Y=>. Acesso em: 23 fev. 2023.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JR., J. A. V. Design Science Research : método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão da Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LE, H. Q.; HSIUNG, B.-C. B. A novel mobile information system for risk management of adjacent buildings in urban underground construction. **Geotechnical Engineering**, v. 45, n. 3, p. 52–63, 2014.

MA, Z.; LIU, Z. **BIM-based intelligent acquisition of construction information for cost estimation of building projects**. (S. M. J. Hajdu M., Ed.)Procedia Engineering. **Anais...Elsevier Ltd**, 2014Disponível em: <<https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84949127385&doi=10.1016%2Fj.proeng.2014.10.561&partnerID=40&md5=e3421b149347b4b2594cedabce02dd75>>

MA, Z.; WEI, Z.; ZHANG, X. Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model. **Automation in Construction**, v. 30, p. 126–135, 2013.

MARZOUK, M.; ABUBAKR, A. Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. **Automation in Construction**, v. 61, p. 1–15, 2016.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The business value of BIM for construction in major global markets**. Estados Unidos: McGraw Hill Construction, 2014. 64 p.

MCKINSEY & COMPANY. Bridging global infrastructure gaps. **McKinsey**

Global Institute, n. June, p. 60, 2016.

MITROPOULOS, PANAGIOTIS; TATUM, C. B. Forces Driving Adoption of New Information Technologies. **Journal of construction engineering and management**, n. November, 2000.

MOHSENIJAM, A.; LU, M. Achieving sustainable structural steel design by estimating fabrication labor cost based on BIM data. In: ICSDEC 2016 - Integrating Data Science, Construction And Sustainability. **Proceedings**[...]. Amsterdam, Elsevier, v.145, p 654-661, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816300613?via%3Di> hub. Acesso em 01 mar. 2019.

MOON, H.; KIM, H.; KIM, C.; KANG, L. Development of a schedule-workspace interference management system simultaneously considering the overlap level of parallel schedules and workspaces. **Automation in Construction**, Holanda, v. 39, p. 93–105, 2014.

<https://sites.google.com/site/naresi1968/fundacao-mecanizada-com-wirth>

OLATUNJI, O. A.; SHER, W. Perspectives on modelling BIM-enabled estimating practices. **Australasian Journal of Construction Economics and Building**, v. 14, n. 4, p. 32-53, 2014.

OO, B. L.; LING, F. Y. Y.; SOO, A. Information feedback and bidders' competitiveness in construction bidding. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 21, n. 5, p. 571-585, 2014.

PORT AUTHORITY NEW YORK NEW JERSEY – PANYNJ. **Virtual design and construction requirements**. Nova Iorque: PANYNJ, v.1.0, 2023, 12 p.

PORT AUTHORITY NEW YORK NEW JERSEY – PANYNJ. **Building Information Modeling Standard**. Nova Iorque: PANYNJ, v.1.1, 2023, 126 p.

PAWELS, P.; STROBBE, T.; PRESENT, P. A pragmatic approach towards software usage in construction projects: The Port House in Antwerp, Belgium. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRODUCT AND PROCESS MODELLING*, 2012, Reykjavik. **Proceedings** [...]. Londres: CRC Press, 2012, p. 509-512.

PENG, S; SU, G; CHEN, J; DU, P. Design of an IoT-BIM-GIS based Risk Management System for Hospital Basic Operation. *In: IEEE SYMPOSIUM ON SERVICE-ORIENTED SYSTEM ENGINEERING (SOSE)*, 11., 2017, São

Francisco. **Proceedings** [...]. Estados Unidos: IEEE Computer Society, 2017, p. 69-74.

PUERTOS DEL ESTADO – PDE. **Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal**. Madrid: PDE, 2019. 85p.

RODRIGUEZ-TREJO, S.; AHMAD, A.; HAFEEZ, M.; DAWOOD, H.; VUKOVIC, V.; KASSEM, M.; NAJI, K.; DAWOOD, N. Hierarchy based information requirements for sustainable operations of buildings in Qatar. **Sustainable Cities and Society**, v. 32, p. 435–448, 2017.

ROLFSEN, C. N.; MERSCHBROCK, C. Acceptance of Construction Scheduling Visualizations: Bar-charts, Flowline-charts, or Perhaps BIM? In: CREATIVE CONSTRUCTION CONFERENCE, 2016, Budapeste. **Proceedings** [...]. Amsterdã: Elsevier, v. 164, p. 558-566, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85006998379&doi=10.1016%2Fj.proeng.2016.11.658&partnerID=40&md5=024e697323b95ad073874f3ae09a8741>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SCHEER, S. et al. On-site BIM model use to integrate 4D/5D activities and construction works: A case study on a brazilian low income housing enterprise. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 15., Orlando, 2014. **Proceedings** [...]. Estados Unidos: ASCE, 2014, p. 455-462. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84934285748&doi=10.1061%2F9780784413616.057&partnerID=40&md5=0c8bcd3088aaca00d34e1c376f415ea4>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SCHILLING, T. J.; Rygel, J. Leveraging BIM Tools to coordinate design a navy pier extension. *In*: PORTS 2019, Pittsburgh, 2019. **Proceedings** [...]. Estados Unidos: ASCE, 2019, p. 295-303.

SHANG, Z.; SHEN, Z. A Framework for a Site Safety Assessment Model Using Statistical 4D BIM-Based Spatial-Temporal Collision Detection. *In*: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2016, San Juan. **Proceedings** [...]. Estados Unidos: ASCE, 2016, p. 2187-2196.

SLOOT, R. N. F.; HEUTINK, A.; VOORDIJK, J. T. Assessing usefulness of 4D

BIM tools in risk mitigation strategies. **Automation in Construction**, Holanda, v. 106, 2019.

SUN, C.; MAN, Q.; WANG, Y. Study on BIM-based construction project cost and schedule risk early warning. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 29, n. 2, p. 469–477, 2015.

SWALLOW, M.; ZULU, S. Benefits and barriers to the adoption of 4d modeling for site health and safety management. **Frontiers in Built Environment**, Suíça, v. 4, 2019.

<https://www.swijetty.com/project/detail/piling-works-for-kijing-port>

VALDEPEÑAS, P.; PÉREZ, M. D. E.; HENCHE, C.; RODRÍGUEZ-ESCRIBANO, R.; FERNÁNDEZ, G.; LÓPEZ-GUTIERREZ, J. Application of the BIM method in the management of the maintenance in port infrastructures. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 12, p. 981, 2020.

TABOADA, J. A.; GARRIDO-LECCA, A. Case study on the use of bim at the bidding stage of a building project. *In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION*, 22., 2014, Oslo. **Proceedings** [...] Estados Unidos: IGLC, 2014, p. 1473-1482. Disponível em: <https://www2.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84923370788&partnerID=40&md5=10bfdb801e38e7450c937dcc0a000d73>. Acesso em: 01 mar. 2019.

TAUSCHER, E.; SMARSLY, K.; KÖNIG, M.; BEUCKE, K. Automated generation of construction sequences using building information models. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING*, 2014, Orlando. **Proceedings** [...]. Estados Unidos: American Society of Civil Engineers (ASCE), 2014, p. 745-752. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84934276728&doi=10.1061%2F9780784413616.093&partnerID=40&md5=ec7f39eb9ca99ab45ee53af8e22bbf63>>

THE BOSTON CONSULTING GROUP. **Digital in Engineering and Construction - The Transformative Power of Building Information Modeling**The Boston Consulting Group. Boston, BCG, 2016, 22p. Disponível

em: <https://www.bcgperspectives.com/Images/BCG-Digital-in-Engineering-and-Construction-Mar-2016_tcm80-206107.pdf%5Cnpapers3://publication/uuid/06E4B809-B169-49E7-BDB4-02E8939071A9>. Acesso em: 05 mar. 2019.

TOMEK, A.; MATEJKA, P. **The impact of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company**. In: CREATIVE CONSTRUCTION CONFERENCE, 2014, Praga. **Proceedings** [...]. Amsterdã: Elsevier, 2014, p. 501-509.

TORRES-CALDERON, W.; CHI, Y.; AMER, F.; GOLPARVAR-FARD, M. **Automated Mining of Construction Schedules for Easy and Quick Assembly of 4D BIM Simulations**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2019, Atlanta. **Proceedings** [...]. Estados Unidos, American Society of Civil Engineers (ASCE), 2019, p. 432-438. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85068749191&doi=10.1061%2F9780784482421.055&partnerID=40&md5=a92cd28b9a5d4f8c53e3b28bf171b740>. Acesso em: 03 mar. 2019.

WANG, W; WENG. S; WANG, B; CHEN, C. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68–80, 2014.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology**. Genebra: World Economic Forum (WEF), 2016, 64 p.

XINRUO, H. Application of BIM Technology in port breakwater construction. **Journal of Coastal Research**, n. 103, p. 548-551, 2020.

YUN, S.; JUN, K.; SON, C.; KIM, S. Preliminary study for performance analysis of BIM-based building construction simulation system. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 2, p. 531–540, 2014.

ZHILIANG, M.; ZHENHUA, W.; WU, S.; ZHE, L. Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China. **Automation in Construction**, Holanda: v. 20, n. 2, p. 196–204, 2011.

ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. BIM-based Risk Management :

Challenges and Opportunities. *In*: Proceedings of the CIB W78 Conference, 32., 2015, Eindhoven. **Proceedings** [...]. Eindhoven University of Technology (TUE), 2015, p. 847-855.

ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects. **Engineering Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 6, p. 727–750, 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