UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

ESCOLA DE ENGENHARIA

MESTRADO PROFISSIONAL EM MONTAGEM INDUSTRIAL

BRENO AUGUSTO FRANÇA RODRIGUES

BIM NO PROJETO DE ENGENHARIA PARA AS ATIVIDADES DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA E MANUTENÇÃO DE UMA FPSO

Niterói, RJ
2020

BRENO AUGUSTO FRANÇA RODRIGUES

BIM NO PROJETO DE ENGENHARIA PARA AS ATIVIDADES DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA E MANUTENÇÃO DE UMA FPSO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial. Área de Concentração: Montagem Industrial.

Orientadores:
Prof. Dr. André Maués Brabo Pereira
Profª Dra. Janine Domingos Vieira

Niterói, RJ
2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

R696b Rodrigues, Breno Augusto França
BIM NO PROJETO DE ENGENHARIA PARA AS ATIVIDADES DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA E MANUTENÇÃO DE UMA FPSO / Breno Augusto França Rodrigues ; André Maués Brabo Pereira, orientador ; Janine Domingos Vieira, coorientadora. Niterói, 2020.
77 f.

Dissertação (mestrado profissional)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

DOI: http://dx.doi.org/10.22409/PMI.2020.mp.08973760645

1. Movimentação de carga. 2. FPSO. 3. BIM. 4. Manutenibilidade. 5. Produção intelectual. I. Pereira, André Maués Brabo, orientador. II. Vieira, Janine Domingos, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Sandra Lopes Coelho - CRB7/3389

BRENO AUGUSTO FRANÇA RODRIGUES

BIM NO PROJETO DE ENGENHARIA PARA ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E MOVIMENTAÇÃO DE CARGA DE UMA FPSO

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Montagem Industrial da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Montagem Industrial. Área de Concentração: Montagem Industrial.

Aprovada em 11 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

André Maués Brabo Pereira

Prof. Dr. techn. André Maués Brabo Pereira - Orientador
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Janine D Vieira

Profª. Drª. Janine Domingos Vieira - Orientadora
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Prof. Dr. Daniel Luiz de Mattos Nascimento
Universidade Federal Fluminense (UFF)

Prof. Ph.D. Luiz Fernando Campos Ramos Martha
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Niterói, RJ
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus orientadores, André e Janine, por terem me incentivado a seguir em frente no mestrado, sempre com disponibilidade para ajudar. Eles foram grandes inspiradores para mim e sem a colaboração, confiança e persistência deles não teria sido possível concluir está dissertação.

A minha mãe, Solange, pelo apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida, por acreditar em min e não medir esforços para concretização dos meus sonhos. Sem ela nada seria possível!

Um especial agradecimento à minha esposa, Ana Claudia, e para meus, ainda pequeninos filhos, Bianca e Victor, pela ajuda e paciência devido a minha ausência do convívio familiar. Agradeço também a minha sogra, Marivone, pelo incentivo e apoio para que eu conseguisse terminar este trabalho

Sou muito grato por ter tido a oportunidade de cursar um mestrado na minha área profissional e agradeço à UFF por disponibilizar esse programa de mestrado em uma área muito importante para o crescimento do país, incentivando pesquisas para melhorar a indústria da construção industrial nacional.

A promessa da inteligência artificial e da ciência da computação geralmente supera o impacto que poderiam ter em alguns empregos da mesma forma que, enquanto a invenção do avião prejudicou a indústria ferroviária, ela abriu portas muito mais amplas ao progresso humano.
(Paul Allen)

RESUMO

A intensidade e a complexidade das demandas de manutenção ao longo da vida de uma FPSO são dependentes diretamente das atividades de movimentação de carga que são realizadas com uma frequência muito elevada. As cargas movimentadas a bordo podem pesar toneladas e a atividade de movimentação de cargas tem sido responsável por diversos acidentes na indústria do petróleo. As decisões tomadas durante a fase de concepção do projeto afetam o trabalho efetivo a ser realizado durante a fase de operação e manutenção e o uso de BIM para auxiliar a equipe de projeto de engenharia nas definições de movimentação de carga para a fase operacional pode melhorar a qualidade, segurança e reduzir custo de manutenção. Esse trabalho apresenta uma proposta de metodologia baseada em BIM para viabilizar a verificação de consistências, e influenciar os envolvidos no projeto nas definições de movimentação de carga, voltadas para manutenção, durante o desenvolvimento de engenharia de uma FPSO.

Palavras-chave: Movimentação de Carga. FPSO. BIM. Manutenibilidade.

ABSTRACT

The intensity and complexity of maintenance demands over the life of an FPSO are directly dependent on cargo handling activities that are carried out with high frequency. The cargo handling on board can weigh tons and this activity has been responsible for several accidents in the oil industry. Decisions made during the project design phase affect the effective work to be carried out during the operation and maintenance phase and the use of BIM to assist the engineering design team in defining cargo handling for the operational phase can improve the quality, safety and reduce maintenance costs. This work presents a proposed methodology based on BIM to make it possible to check consistencies, and to influence those involved in the project in the definitions of cargo handling, focused on maintenance, during the engineering development of an FPSO.

Keywords: Cargo Handling. FPSO. BIM. Maintainability.

SUMÁRIO

FOLHA DE ROSTO, p. 1

FOLHA DE APROVAÇÃO, p. 3

AGRADECIMENTOS, p. 4

EPÍGRAFE, p. 5

RESUMO NA LÍNGUA VERNÁCULA, p. 6

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA, p. 7

SUMÁRIO, p. 8

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, p. 10

LISTA DE TABELAS, p. 12

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS, p. 13

1 INTRODUÇÃO, p. 14

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO, p. 14

1.2 MOTIVAÇÃO, p. 17

1.3 ESTADO DA ARTE, p. 18

1.4 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES, p. 21

1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO, p. 22

2 REVISÃO DA LITERATURA, p. 23

2.1 MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS EM UMA FPSO, p. 23

2.2 BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM), p. 27

2.3 INDUSTRY FOUNDATION CLASS (IFC), p. 29

2.4 ALGORITMO DE BUSCA A*, p. 30

3 METODOLOGIA, p.37

3.1 PAINEL DE CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA, p. 38

3.1.1 Adequação da diretriz de engenharia, p. 39

3.1.2 Criação da ferramenta, p. 40

3.1.2.1 Etapa 1 do Fluxograma: Item, p. 42

3.1.2.2 Etapa 2 do Fluxograma: Capacidade do guindaste VS peso dos itens, p. 42

3.1.2.3 Etapa 3 do Fluxograma: Raio operacional do guindaste, p. 42

3.1.2.4 Etapa 4 do Fluxograma: Interferência, p. 43

3.1.2.5 Etapa 5, 6 e 7 do Fluxograma: Resposta das verificações, p. 44

3.1.2.6 O Painel de Controle de movimentação de carga, p. 44

3.2 VERIFICAÇÕES DAS ROTAS DE MANUTENÇÃO, p. 46

3.2.1 Reserva das rotas de manutenção através de volumes, p. 46

3.2.2 Verificação automática das rotas, p. 50

4 RESULTADO, p. 55

4.1 PAINEL DE CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA, p. 55

4.2 VERIFICAÇÕES DAS ROTAS DE MANUTENÇÃO, p. 58

5 CONCLUSÃO, p. 62

6 REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p. 64

7 APÊNDICES, p. 67

7.1 ALGORITMO EM PYTHON PARA VERIFICAÇÃO DAS ROTAS, p. 67

7.2 CÓDIGO-FONTE IFC PARA ROTA DE MANUTENÇÃO DA SEÇÃO, p. 71

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fig. 1 Preço do barril de Petróleo Bruto em dólar, f. 14

Fig. 2 Maturidade digital atual do ciclo de vida de um projeto de E&P, f. 16

Fig. 3 Poder de influência durante o ciclo de vida de um ativo, f. 17

Fig. 4 Artigos publicados sobre BIM para Reformas e Manutenção por estágios do ciclo de vida de um projeto, f. 18

Fig. 5 Reserva de espaço para acesso de manutenção ao equipamento, f. 19

Fig. 6 Artigos publicados sobre BIM para manutenção, reparo e operação, f. 20

Fig. 7 Plataforma FPSO, f. 23

Fig. 8 Exemplo de guindaste offshore, f. 24

Fig. 9 Raio de Operação de um guindaste offshore, f. 25

Fig. 10 Exemplo de um arranjo geral de uma FPSO, f. 26

Fig. 11 Intercâmbio de informações entre sistemas usando IFC, f. 30

Fig. 12 Conteúdo de um arquivo IFC, f. 30

Fig. 13 Grafo de exemplo para realizar a busca de melhor caminho, f. 32

Fig. 14 Distâncias entre nós e em linha reta dos nós para o objetivo em K, f. 33

Fig. 15 Primeira etapa da Busca A*, f. 34

Fig. 16 Etapas da primeira tentativa de busca do algoritmo A* para K, f. 35

Fig. 17 Verificação de nova rota para resolução de busca do algoritmo A* para K, f. 36

Fig. 18 Esquemático da resolução de busca do algoritmo A* para K, f. 36

Fig. 19 Possíveis fluxos para os sistemas propostos, f. 37

Fig. 20 Fluxo de desenvolvimento do Painel de Movimentação de Carga, f. 39

Fig. 21 Fluxo de verificação do algoritmo do Painel de Movimentação de Carga, f. 41

Fig. 22 Motor com interferência vertical que impede o seu içamento através de guindaste, f. 43

Fig. 23 Painel de Controle 1, f. 45

Fig. 24 Painel de Controle 2, f. 46

Fig. 25 Unidade de compressão de gás, f. 47

Fig. 26 Rota de manutenção dos compressores C-UC-1252001A/B, f. 47

Fig. 27 Rota de manutenção dos variadores de velocidade VV-UC-1252001A/B, f. 48

Fig. 28 Rota de manutenção dos motores M-UC-1252001A/B, f. 48

Fig. 29 Volumes das rotas de movimentação de carga do primeiro piso e localização das rotas da unidade compressora, f. 49

Fig. 30 Reserva de volume para as áreas de *laydown*, f. 49

Fig. 31 Código-fonte IFC de um dos volumes das rotas de manutenção da unidade compressora de gás, f. 50

Fig. 33 Conversão das rotas em uma imagem monocromática, f. 51

Fig. 34 Conversão das coordenadas em metros para pixel, f. 52

Fig. 35 Rotas para C-UC-1252001A/B identificadas pelo algoritmo de busca A*, f. 53

Fig. 36 Rotas para VV-UC-1252001A/B identificadas pelo algoritmo de busca A*, f. 53

Fig. 37 Rotas para M-UC-1252001A/B identificadas pelo algoritmo de busca A*, f. 54

Fig. 38 Itens identificados pela Painel de Controle, f. 55

Fig. 39 Parametrização do guindaste de vante, f. 56

Fig. 40 Permutadores que necessitam ser movimentados para manutenção, f. 56

Fig. 41 Verificação da matriz de movimentação de carga para os permutadores P-UC-1231002A-01 e P-UC-1231002C-02, f. 57

Fig. 42 Rotas verificadas pelo algoritmo de busca A*, f. 59

Fig. 43 Rotas dos equipamentos para a área de *laydown* 2, f. 60

Fig. 44 Rotas dos equipamentos para área de *laydown* 1, f. 60

Fig. 45 Itens que não tinham rota definida, f. 61

Fig. 46 Lista de itens gerada pelo algoritmo, f. 61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Matriz de Movimentação de Carga, f. 40

TABELA 2 - Lista de itens que a rota de manutenção foi verificada, f. 58

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BDS	*Building Description System*
BI	*Business Intelligence*
BIM	*Building Information Modeling*
E&P	Exploração e Produção
FPSO	*Floating Production Storage and Offloading*
IAI	*Internacional Alliance for Interoperability*
IFC	*Industry Foundation Class*
UEP	Unidade Estacionária de Produção

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As empresas de Exploração e Produção (E&P) de Óleo e Gás estão cada vez mais buscando reduzir seus custos para suportar as oscilações do preço do barril de petróleo. A recente crise no setor, devido à baixa demanda mundial causada pela pandemia do COVID-19, e pela guerra comercial entre Rússia e Arábia Saudita, agravou bastante a sustentabilidade dessas empresas e reforça ainda mais a necessidade por um custo resiliente do negócio, em que o preço do barril de petróleo cubra os custos de extração. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2020, passim), em que agrupou várias análises de órgãos especializados no setor de Óleo e Gás, teremos provavelmente um cenário de valor baixo do preço do barril por um longo tempo.

Na Figura 1 é possível verificar uma queda considerável no preço do barril de petróleo bruto começando em 2014 sendo que até hoje não voltou ao patamar de cotação de antes dessa data. Em março de 2020 o preço do barril chegou a 19,99 dólares sendo que em março de 2012 o barril era vendido por mais de 115,00 dólares.

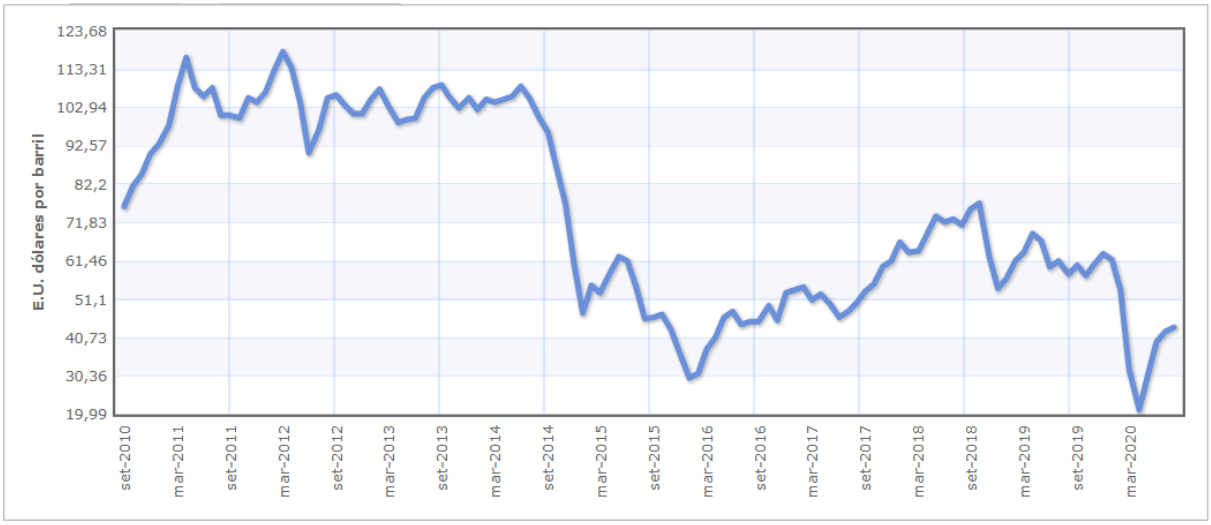


Figura 1 - Preço do barril de Petróleo Bruto em dólar.
Fonte: "Indexmundi - Petróleo Bruto" (2020)

Para um Projeto na área de Exploração e Produção de Óleo e Gás ter viabilidade econômica com toda essa volatilidade no preço do barril do petróleo é necessário ter custos baixos para suportar as crises, assim como deve ser avaliado o custo de todo o ciclo da vida do ativo. Esses custos são administrativos gerais, de comercialização do petróleo, de aquisição de direitos exploratórios, de exploração, de desenvolvimento, de produção que incluem custos para

operar e fazer manutenção, de transporte ou escoamento, de impostos e de retorno sobre capital investido (ALMEIDA et al., 2016, p. 10).

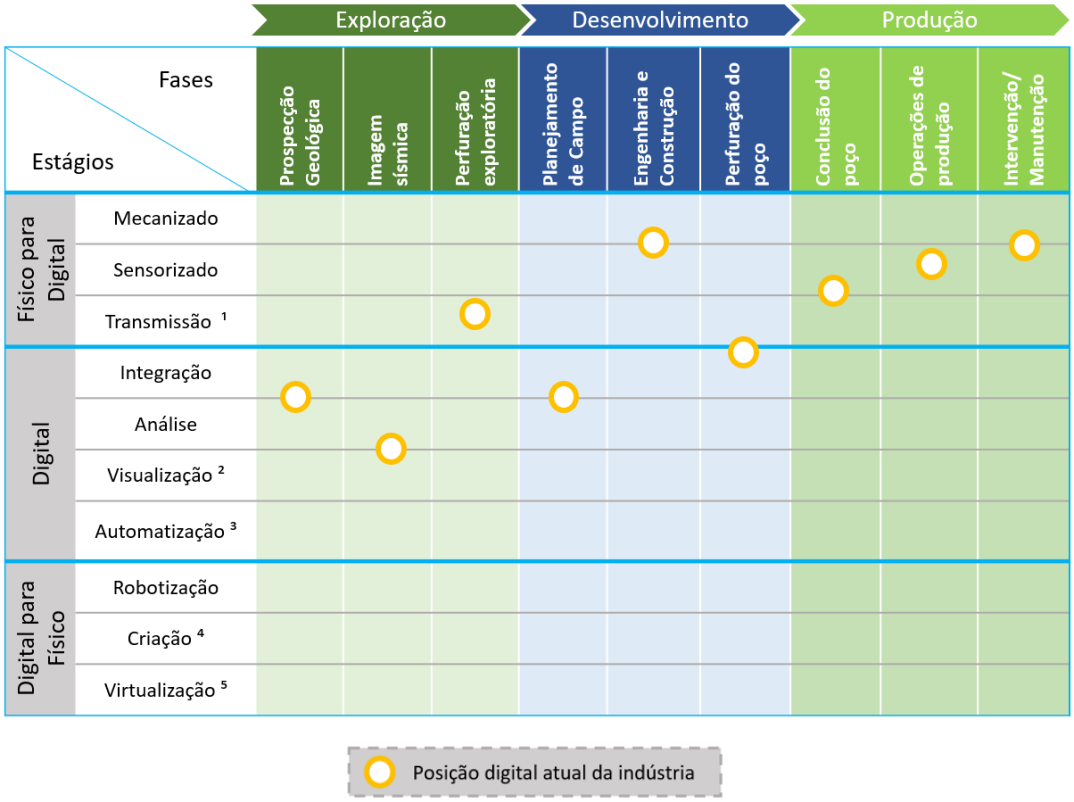
O foco desse trabalho será nas atividades de manuseio de carga para manutenção que é uma das atividades que compõe os custos de produção. De acordo com estudos realizados por Rodrigues (2012, p. 2), a quantidade da força de trabalho de manutenção a bordo é de cerca de 30 a 60% do total, o que representa uma quantidade considerável visto que a equipe responsável pela operação era de apenas 9% a 21% do total.

A intensidade e a complexidade das demandas de manutenção ao longo da vida do ativo são dependentes diretamente das atividades de movimentação de carga, além de outros tipos de movimentações tais como rancho e produtos químicos que são realizadas com uma frequência muito elevada em uma plataforma offshore. O planejamento adequado dessa atividade é essencial para termos um custo controlado além de minimizar os riscos de acidentes. Arnold et al. (2005, p. 870) afirma que a movimentação de materiais a bordo é a principal responsável pela maioria dos acidentes em um ambiente offshore.

Como as decisões tomadas durante a fase de concepção de um projeto afetam o trabalho efetivo a ser realizado durante a fase de operação e manutenção, um estudo de movimentação de cargas durante o projeto de engenharia de uma plataforma offshore é fundamental para que as atividades de manuseio de carga ocorram com segurança e com recurso otimizado. Projetar uma plataforma deixando espaços adequados e disponibilizando recursos, tais como monovias e olhais, são essenciais. O desenvolvimento do projeto de engenharia é uma tarefa multidisciplinar e requer boa comunicação entre os responsáveis para que o arranjo da plataforma considere a movimentação de carga simultaneamente aos requisitos de eficiência operacional e segurança de processo.

> "No desenvolvimento do arranjo de uma plataforma Floating Production Storage and Offloading (FPSO), o objetivo principal é a criação de um ambiente de trabalho que seja o mais seguro possível sob uma ampla gama de condições normais e anormais e relacionadas ao clima, bem como relacionadas à produção. Isto é uma tarefa de projeto multidisciplinar, envolvendo muitas contribuições. É um processo iterativo que tem que levar em conta o projeto em evolução e deve enfrentar possíveis conflitos e confrontos. Acima de tudo, requer boa comunicação entre as partes interessadas para garantir que os mais altos padrões de segurança sejam alcançados." (UKOOA, 2002, p. 120)(tradução nossa)

Affonso et al. (2020, passim) declara que o uso de tecnologias digitais no desenvolvimento de projetos de engenharia ajuda na comunicação pois utilizam ambientes colaborativos além de melhorar a consistência e reduzir a quantidade de horas de engenharia. A indústria de óleo e gás está cada vez mais reescrevendo seus processos para ampliar o uso dessas tecnologias e obter ganho de produtividade, segurança nas operações e consequentemente ter uma redução de custo. A Figura 2 mostra um retrato da maturidade digital dividido por etapas do ciclo de projeto das empresas de Óleo e Gás e percebemos que existem diversas oportunidades de melhoria de vários processos através do incremento do uso de tecnologias digitais.



1 – Transmissão digital ou analógica de dados através de comunicação por rede, sistemas ou dispositivos
2 – Exibição de informações para melhorar a interpretação e usabilidade, e melhorar assim a mobilidade dos funcionários
3 – Tomadas de decisões automatizadas usando otimização, inteligência artificial, aprendizado de máquina etc.
4 – Uso de dados de modelos 3D para impressão e fabricação de equipamentos
5 – Replicação digitalmente de ativos, processos e sistemas como o Digital Twin por exemplo

Figura 2 – Maturidade digital atual do ciclo de vida de um projeto de E&P.
Fonte: Adaptado de Mittal et al. (2017, p. 8)

1.2 MOTIVAÇÃO

Devido à nova realidade da indústria de E&P, em que se faz necessário ter um custo resiliente as recorrentes oscilações no preço do barril de petróleo, estudar ações para redução de custo é muito importante para deixar essa atividade sustentável e competitiva.

A fase que detém o maior período de duração durante o ciclo de vida de um projeto de E&P é a fase de operação que dura em média 25 anos, sendo portanto uma etapa em que as ações de redução de custo tem grandes efeitos devido a esse longo período de tempo em que uma Unidade Estacionária de Produção (UEP) ficará operando e sofrendo manutenções. Quando olhamos para as atividades de manutenção, percebemos que as ações que possuem a maior influência são as tomadas durante a fase de engenharia, conforme mostrado na Figura 3 (KELLY, 2006, p. 14).

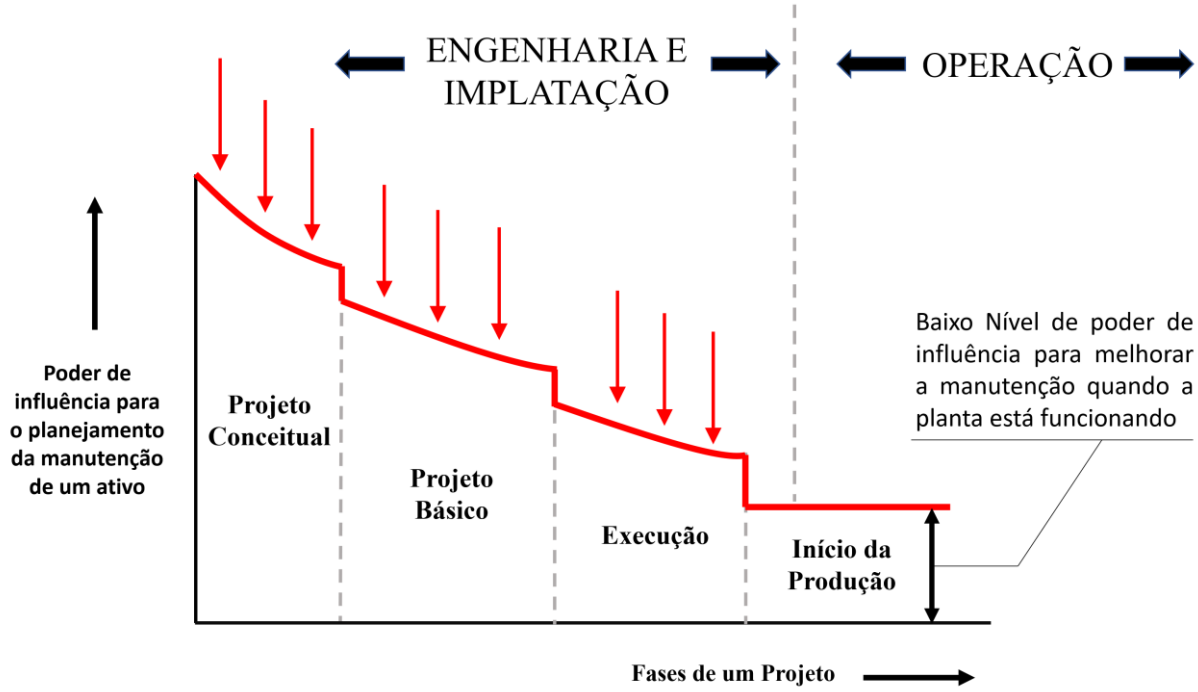


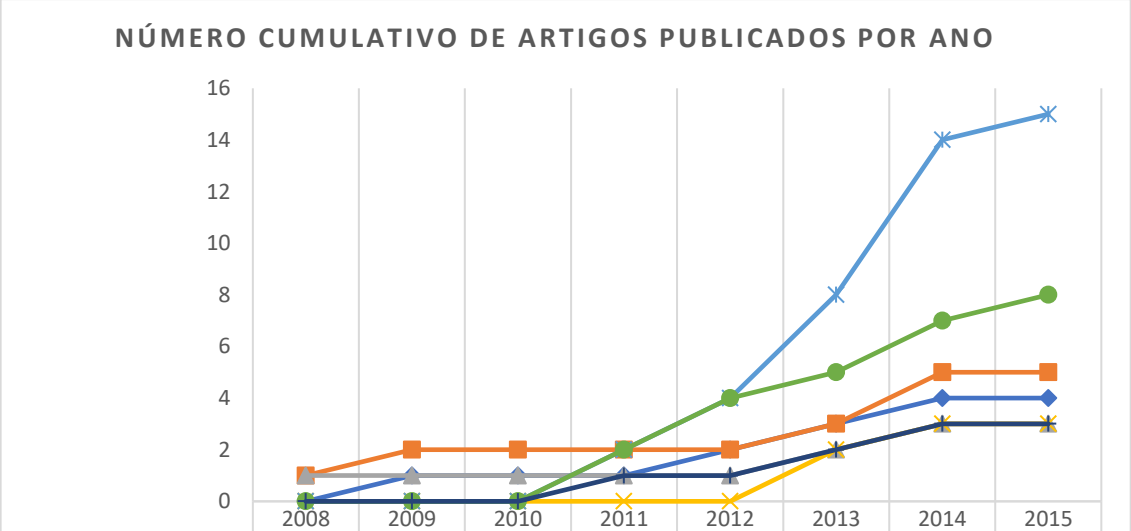
Figura 3 - Poder de influência durante o ciclo de vida de um ativo.
Fonte: Adaptado de Kelly (2006, p. 15)

Manutenibilidade é o termo usado para as ações realizadas durante a fase de engenharia de um projeto para garantir que um equipamento ou sistema possam ter manutenção de forma fácil e com custo mínimo (BARBAROSOGLU; ARDITI, 2019, p. 335). Pensar na movimentação de carga, que é uma atividade crítica e frequente para manutenção de uma FPSO, ainda na fase de engenharia é muito importante pois vamos facilitar a desmontagem e troca de componentes reduzindo o tempo de intervenção e melhorando a segurança dessas atividades.

Devido à complexidade de um projeto de engenharia de uma FPSO, a manutenibilidade é um desafio de ser implementado de forma adequada pois precisa influenciar uma grande equipe multidisciplinar. Utilizar recursos digitais como *Building Information Modeling* (BIM) para auxiliar nesse desafio de implantação de ações de manutenibilidade no projeto faz todo sentido visto que o mesmo já é uma ferramenta consagrada em viabilizar a colaboração e uma boa integração entre a equipe de um projeto. Porém ações de manutenibilidade precisam ser desenvolvidas para se tirar todo o proveito que BIM nos fornece.

1.3 ESTADO DA ARTE

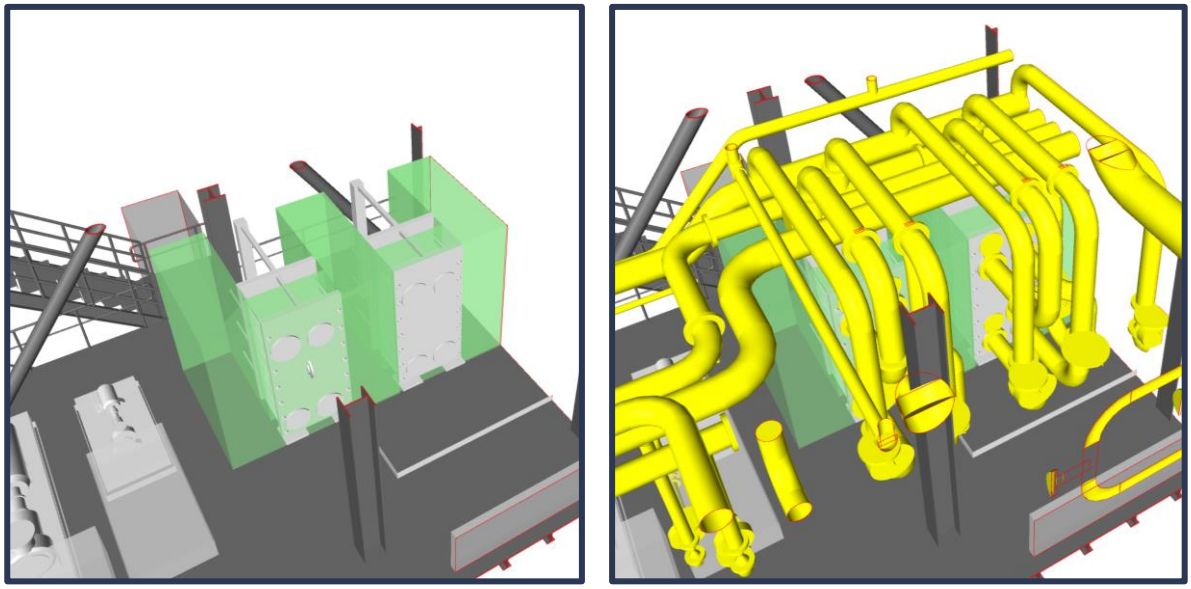
O interesse pelo uso de BIM para melhorar os processos relacionados a manutenção é recente e segundo Gao et al. (2019, p. 243) o uso do BIM para manutenção é uma nova área emergente de pesquisa. Foi observado por Ilter et al. (2015, p. 237) um aumento na quantidade de artigos publicados para esse tema a partir de 2008, em que ele mapeou os artigos publicados que usavam o BIM para alguma atividade relacionada a manutenção e reforma de empreendimentos, conforme pode ser visto na Figura 4.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Conceito	0	1	1	1	2	3	4	4
Engenharia	1	2	2	2	2	3	5	5
Construção	1	1	1	1	1	2	3	3
Entrega	0	0	0	0	0	2	3	3
Manutenção	0	0	0	2	4	8	14	15
Reformas	0	0	0	2	4	5	7	8
Descontrução	0	0	0	1	1	2	3	3

Figura 4 - Artigos publicados sobre BIM para Reformas e Manutenção por estágios do ciclo de vida de um projeto. Fonte: Adaptado de Ilter et al. (2015, p. 237)

Os primeiros trabalhos relacionados ao tema manutenção associado a BIM eram tratados nos estágios iniciais do ciclo de vida de um ativo pois as primeiras pesquisas realizadas estavam relacionadas com engenharia e construção (ILTER; ERGEN, 2015, p. 238). Os ganhos que BIM trás para a etapa de engenharia e construção são notórios e descritos em diversos trabalhos, porém quando olhamos sua aplicação para a área de manutenção ainda são encontrados poucos trabalhos utilizando BIM para melhorar o desenvolvimento de engenharia nos aspectos de manutenção. Podemos chegar a essa conclusão quando verificamos que até 2015 tínhamos apenas 5 trabalhos em que a área de pesquisa está relacionada com engenharia utilizando BIM para manutenção. Desses cinco trabalhos publicados até 2015, Liu e Issa (2014, p. passim) focam nos aspectos de acessibilidade para manutenção durante o desenvolvimento da engenharia, onde utilizam do recurso de criar volumes para reservar a área de manutenção e evitar que outros projetistas de outras disciplinas coloquem algum item nesses espaços que precisam estar livres para viabilizar a manutenção de um respectivo equipamento. A Figura 5 mostra um exemplo de reserva de espaço para impedir que seja projetado algum outro elemento que impeça o acesso a um equipamento que precisa ter manutenção periódica, o que demonstra a importância de se reservar espaços para manutenção.



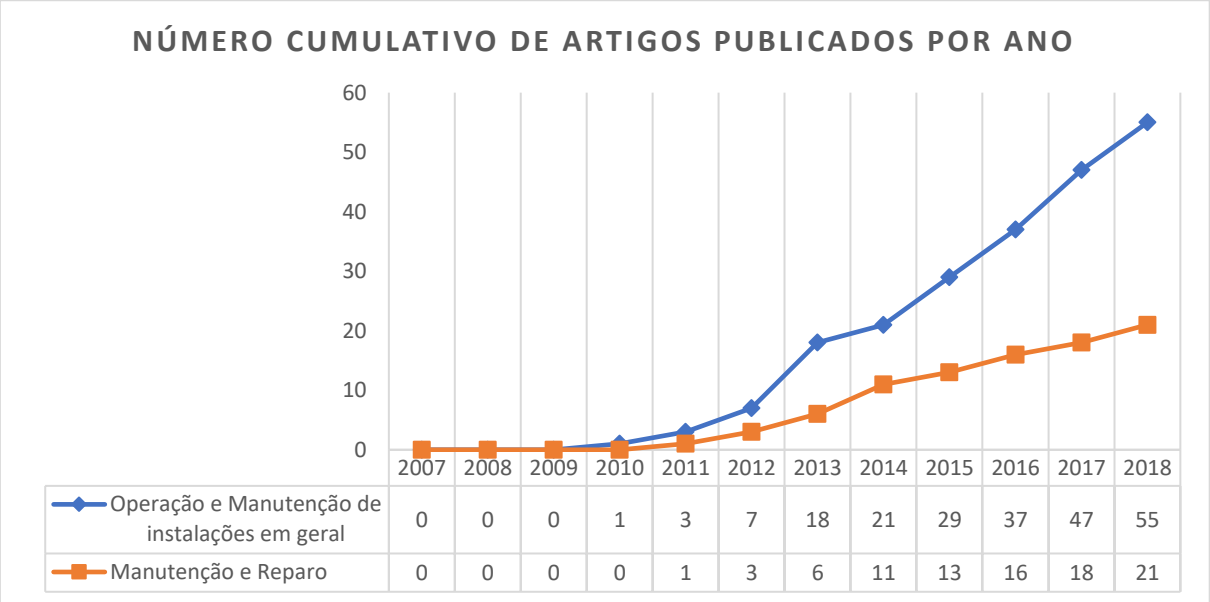
Reserva de espaço em verde

Tubulações são projetadas respeitando a reserva feita pelo volume verde

Figura 5 – Reserva de espaço para acesso de manutenção ao equipamento.
Fonte: Autoria própria

Os outros quatros artigos que abordam a fase de engenharia têm como tema principal o uso de dados que podem ser usados desde o desenvolvimento da engenharia até a fase de operação para tornar as atividades mais eficientes. Vanlande et al. (2008, p. passim) pesquisa sobre a passagem de informações ao longo das etapas do ciclo de vida de um ativo, e utilizou IFC para viabilizar a interoperabilidade entre sistemas. Os outros autores, Sharples (2009, p. passim), Eadie et al. (2013, p. passim) e Whaley e Lowe (2014, p. passim) também tratam das informações que a engenharia pode fornecer para auxiliar a atividade de manutenção e não uma forma de auxiliar o desenvolvimento do arranjo de um ativo para facilitar a movimentação de carga e consequentemente melhorar a eficiência das atividades de manutenção.

Gao et al. (2019, p. 229) também levantou os artigos, publicados até 2018, que relacionam BIM com operação e manutenção. Foram encontrados ao todo 76 artigos, conforme mostrado na Figura 6. A classificação utilizada foi para artigos que relacionavam BIM com operação e manutenção de instalações em geral e para as atividades de manutenção e reparo.



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Operação e Manutenção de instalações em geral	0	0	0	1	3	7	18	21	29	37	47	55
Manutenção e Reparo	0	0	0	0	1	3	6	11	13	16	18	21

Figura 6 - Artigos publicados sobre BIM para manutenção, reparo e operação.
Fonte: Adaptado de Gao e Pishdad-Bozorgi (2019)

A maioria dos artigos apresentados na Figura 6 está relacionada a melhorar o acesso a informações dos dados ao longo do ciclo de vida do ativo. Existem algumas barreiras hoje, principalmente relacionadas a interoperabilidade, as quais justificam esse crescente aumento de pesquisa na área de manutenção associada a BIM (GAO; PISHDAD-BOZORGI, 2019, p. passim).

Após uma verificação dos artigos mais relevantes apontados por Gao e Pishdad (2019, p. 233), havia um trabalho relacionado diretamente com manutenibilidade em que Lee et al. (2014, p. passim) desenvolve uma aplicação que verifica durante a fase de engenharia se haverá espaços suficientes para uma pessoa acessar tubulações especificas para realizar inspeções periódicas em uma planta industrial. Foi utilizado um algoritmo para verificar de forma automática qual seria o melhor caminho a ser percorrido pelo inspetor e se existe espaço suficiente para seu deslocamento até o ponto de interesse.

Apesar de BIM já estar consagrado e seus resultados já estarem consolidados na fase de engenharia, ainda se tem muito pouco artigo relacionado a manutenibilidade, assim como há pouco sobre como podemos influenciar as equipes de projeto a pensarem nos aspectos de manutenção durante a fase de engenharia usando recursos de BIM. Realmente nos últimos anos percebe-se um aumento do interesse dos pesquisadores em estudar como BIM pode ser utilizado para auxiliar a atividade de manutenção, porém essas pesquisas estão mais relacionadas a fase de operação e manutenção e quando se relacionam com a fase de engenharia a maioria dessas pesquisas estão ligadas aos aspectos de interoperabilidade e informações que devem compor o projeto para facilitar a manutenção. As poucas pesquisas encontradas sobre manutenibilidade usando BIM estão mais relacionadas a verificação de acessibilidade.

1.4 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES

O objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia que vai influenciar a equipe de projeto de engenharia de uma FPSO a desenvolver um projeto pensando na otimização das atividades de movimentação de carga voltada para manutenção, ajudando a equipe na tomada de decisão e verificando a consistência do projeto. A metodologia passa por verificações automatizadas de aderência do projeto com as regras de movimentação de carga através de leitura em tempo real das informações de engenharia contidas nos bancos de dados das ferramentas de modelagem 3D utilizadas no desenvolvimento do projeto. Dessa forma, é possível integrar o desenvolvimento do arranjo da plataforma de forma interativa com as outras disciplinas.

Como foi pontuado na seção anterior, as pesquisas realizadas para a fase de engenharia do ciclo de vida do projeto são voltadas para uma reserva de espaço físico para viabilizar o acesso a um determinado equipamento que precisará de manutenção ou é focado nas informações contidas no banco de dados de engenharia. A contribuição inédita que esse

presente trabalho irá trazer é que será verificado de forma automatizada se existe reserva de espaço durante todo o percurso a ser realizado por um determinado equipamento na planta, para viabilizar sua movimentação de carga até uma região de interesse. Além disso, será possível realizar uma otimização do layout com o direcionamento da movimentação de carga e contribuir para o dimensionamento dos guindastes.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Os tópicos apresentados na revisão da literatura trazem um conhecimento necessário para o entendimento da metodologia proposta e dessa forma haverá primeiramente uma breve explanação sobre a movimentação de carga em uma FPSO. Posteriormente serão apresentadas literaturas referentes a BIM, IFC e por último, sobre o funcionamento do algoritmo de busca conhecido por A* que será utilizado no desenvolvimento da metodologia.

A metodologia foi dividia em duas seções, Painel de Controle de movimentação de carga e verificações das rotas de movimentação de carga. Os dois temas são complementares, porém o Painel de Controle traz uma nova abordagem para consumo dos dados do projeto com o objetivo de ajudar nas definições referentes à movimentação de carga. Já na outra seção, verificações das rotas de movimentação de carga, será apresentada a aplicação do algoritmo de busca para verificar a consistência do projeto.

Na seção resultado, haverá a mesma divisão entre Painel de Controle e verificações das rotas de movimentação de carga, e será apresentado o funcionamento do painel e o resultado da resposta do algoritmo respectivamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS EM UMA FPSO

Apesar do escopo do estudo desse trabalho ser aplicável para qualquer tipo de unidade operacional, a necessidade foi observada durante o projeto de engenharia de uma FPSO, que possui uma quantidade enorme de itens a serem manutenidos, espaços limitados e um custo de mão de obra de manutenção elevado. Além disso, a estimativa é que o Brasil demande em torno de 28 FPSOs entre 2020 e 2030 devido ao desenvolvimento das reservas encontradas no Pré-Sal (EBPR, 2019).

As letras que compõe a sigla FPSO são as iniciais das seguintes palavras na língua inglesa: *Floating, Production, Storage and Offloading*. As FPSOs são plataformas flutuantes em formato de navio que realizam a produção, armazenamento e transferência de hidrocarbonetos (UKOOA, 2002, p. 4). A Figura 7 é de um navio FPSO onde podemos ver os equipamentos de superfície instalados no convés do navio e dois guindastes nos bordos da embarcação.

Figura 7 - Plataforma FPSO. Fonte: "Estaleiro Brasa" (2014)

O casco do navio possui tanques capazes de armazenar petróleo e acima, no convés do navio, são instalados os módulos de geração de energia, processo e acomodações. Apesar de existirem vários elementos em comum em todas FPSOs, sempre haverá alguma diferença de arranjo entre elas. Por exemplo, a quantidade e os tipos de módulos podem ser diferentes pois depende de alguns fatores e o principal deles seria a composição química dos hidrocarbonetos do poço que está sendo explorado. Isto é, se um determinado campo apresentar na composição química do hidrocarboneto o composto H_2S, que é um contaminante, será necessário ter um módulo para remoção dele. Cada plataforma terá um arranjo específico devido as suas características únicas que cada campo exigirá.

Para receber e enviar cargas, ou seja, realizar atividades de transbordo entre a FPSO e uma embarcação de apoio, é necessário o uso de guindastes semelhante ao da Figura 8. A carga pode ser movimentada pelo gancho principal conhecido como moitão, ou pela bola peso ou gancho auxiliar. A diferença é que a bola peso tem uma velocidade de movimentação maior, porém com uma capacidade de carga inferior.

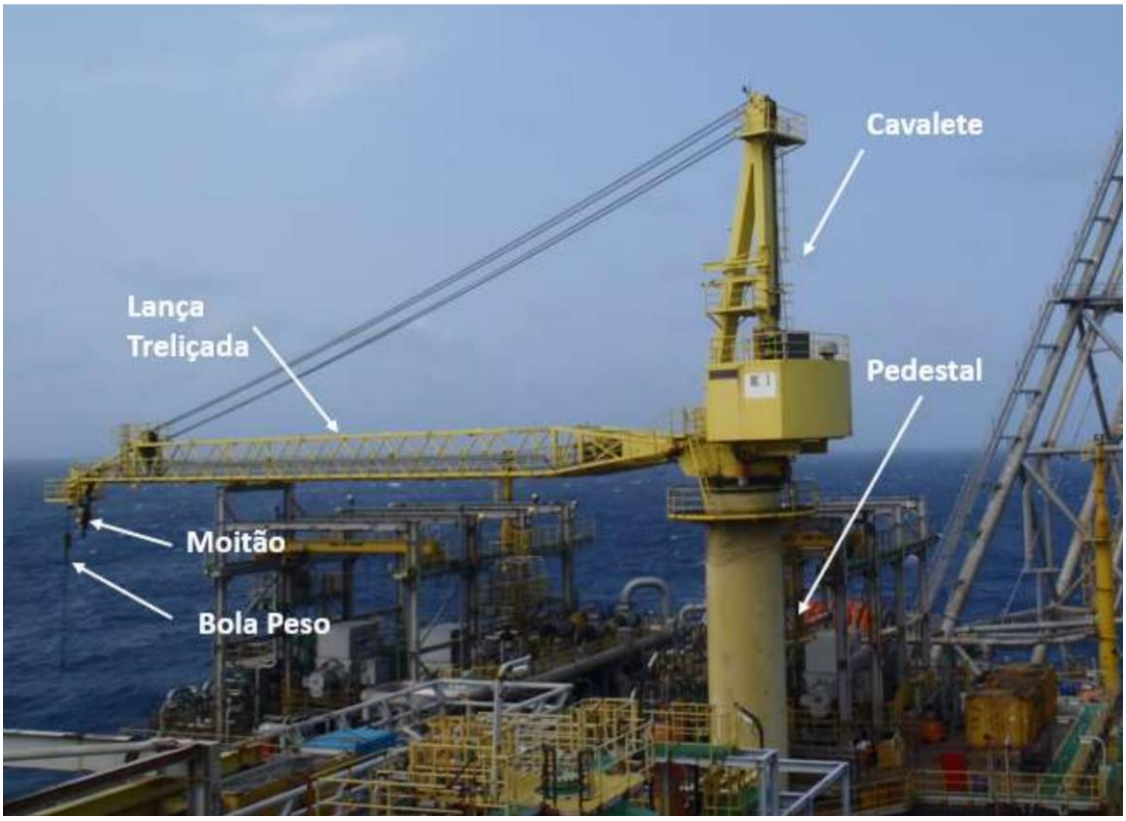


Figura 8 - Exemplo de guindaste offshore. Fonte: Miranda (2019, p. 6)

Adicionalmente, o guindaste é utilizado para realizar movimentações de cargas internas a plataforma. Normalmente são instalados dois guindastes, em bombordo ou boreste, do lado oposto das tubulações de chegada e saída da plataforma conhecidas como *risers*. Esses guindastes são fixados na plataforma sobre um pedestal que é soldado ao casco. A área de atuação deles na plataforma é limitada ao que chamamos de raio de operação, distância ortogonal entre o centro do pedestal até ao gancho, conforme mostrado na Figura 9.

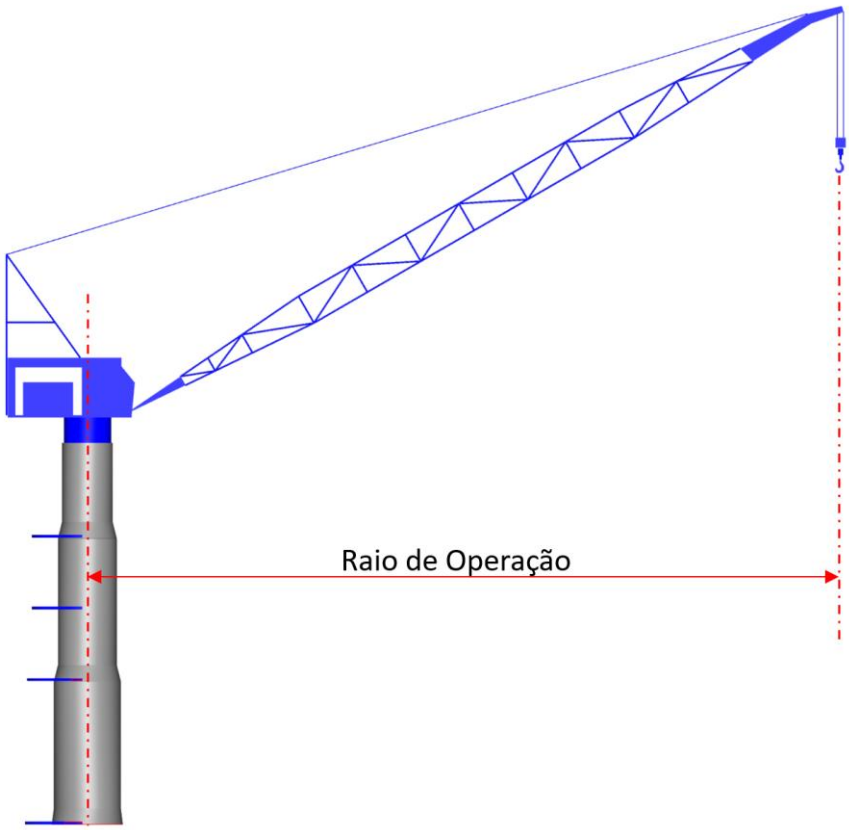


Figura 9 - Raio de Operação de um guindaste offshore. Fonte: Autoria própria

Na Figura 10, apresenta-se uma planta onde podemos verificar um exemplo de arranjo típico de uma FPSO, sendo que a região em verde é normalmente onde as tubulações que fazem as interligações entre os diversos módulos ficam instaladas e é conhecida como *Pipe Rack Central*. No primeiro piso da região do *Pipe Rack Central*, geralmente temos um corredor reservado para o fluxo de materiais na plataforma juntamente com uma rota de fuga principal. Nessa planta, estão representados também os raios de atuação dos guindastes, e podemos observar que a área de atuação dos mesmos atende apenas a uma pequena parcela da FPSO. Boa parte das cargas que irão sofrer manutenção precisam ser movimentadas através de outros

equipamentos tais como talhas, carrinhos, etc para alcançarem uma região em que o guindaste tenha alcance para movimentá-las.

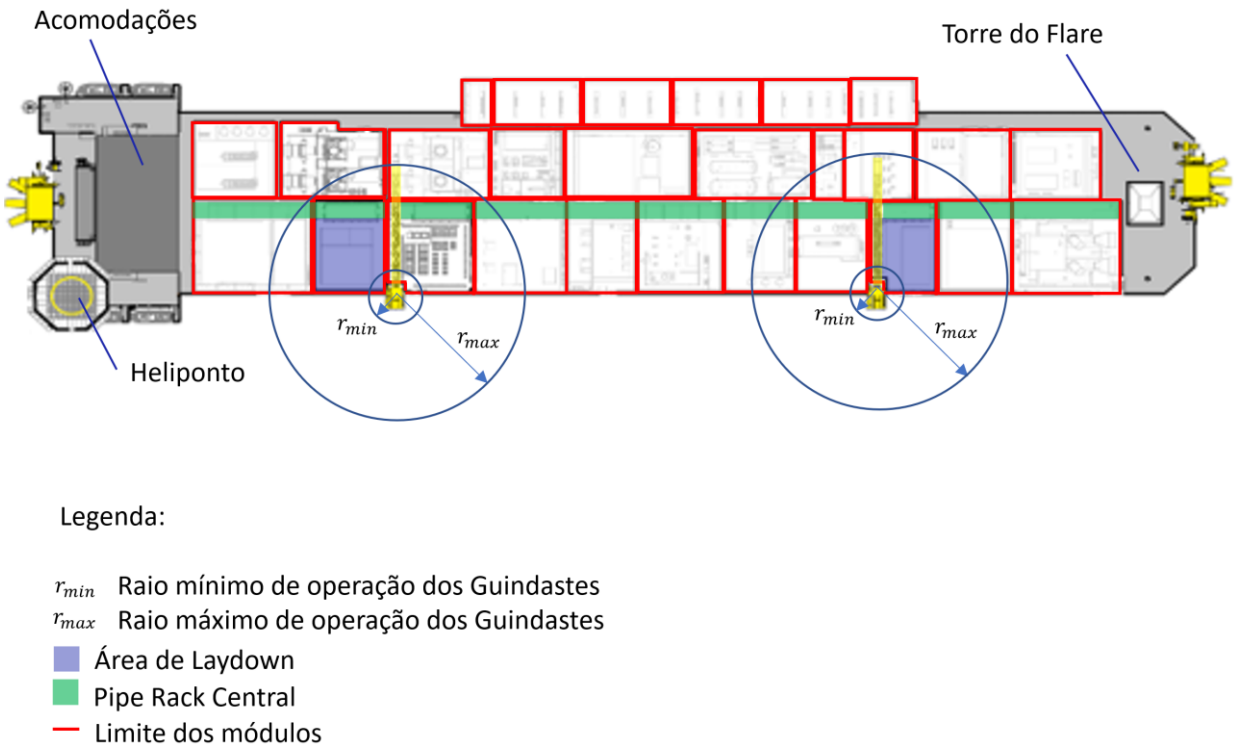


Figura 10 - Exemplo de um arranjo geral de uma FPSO. Fonte: Autoria própria

As chamadas "áreas de *Laydown"*, são regiões reservadas para armazenamento de material em uma FPSO e normalmente elas ficam localizadas próximas dos guindastes para facilitar a visão do operador visto que será uma região com alta frequência de movimentação.

Para Moura (2010, p. 118), o arranjo de uma unidade e a movimentação de materiais estão ligados de tal maneira que muitas vezes é difícil determinar as áreas de influência de um sobre o outro. Além disso, Abraçado (2018, p. 18) conclui que apesar do projeto precisar pensar no arranjo da melhor forma para melhorar a eficiência das demandas de produção, para uma FPSO a movimentação de carga está ligada diretamente a continuidade da produção pois atua na integridade dos equipamentos da planta.

Abraçado (2018, p. 13) afirma também que é possível encontrar na literatura assuntos relacionados a movimentação de materiais e verificação da sua eficácia para melhoria do processo produtivo porém a grande maioria é voltada para a movimentação dos produtos em processamento. Em uma FPSO existe movimentação de produtos através de uma planta processo contínuo, entretanto são realizadas através de tubulações sem manuseio dos

trabalhadores. Não há, portanto, trabalho da equipe que está a bordo de uma FPSO envolvendo movimentação de cargas para o processamento de produtos e sim para as atividades de manutenção ou de insumos. Mesmo que não haja manipulação dos produtos, os módulos serão sempre que possível colocados em linha reta, conforme pode ser visto na planta da Figura 10, pois segue o fluxo de processos para simplificar o sistema de tubulação. Dessa forma, essa restrição de arranjo reduz significativamente a flexibilidade do projeto de engenharia em reduzir as distâncias percorridas pelas principais cargas no sistema de movimentação de materiais implementado na plataforma.

Mesmo com restrições para tornar o arranjo mais eficiente para as atividades de movimentação de carga, ainda existem diversas oportunidades de melhoria visto que a quantidade de itens que serão movimentados é enorme e um estudo mais detalhado na fase de projeto poderá tornar a produção mais econômica e eficiente. Obstruções como passagens, colunas, escadas e equipamentos podem impedir o movimento e trazer falhas em diversas operações de movimentação de carga (MOURA, 2010, p. 99).

2.2 BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

O conceito de *Building Information Modelling* (BIM) não é atribuído diretamente a alguém ou uma instituição específica, pois houve o envolvimento de diversas entidades nos Estados Unidos, Europa Ocidental e do bloco Soviético competindo para desenvolver uma solução capaz de criar um perfeito ambiente colaborativo a fim de substituir os fluxos de trabalho do CAD 2D (BERGIN, 2011, p. 1).

Já o termo BIM e o significado atribuído a esse acrônimo, passou por uma evolução ao longo do tempo e segundo Gaspar e Ruschel (2017, p. 4), a primeira publicação em que se citava algo parecido foi realizada por Charles Eastman (1976, passim) em que o mesmo usou o termo *Building Description System* (BDS). Nesse artigo ele discute sobre parametrização, representações 3D com um banco de dados integrado e com isso ele basicamente descrevia o que conhecemos de BIM atualmente. Bergin (2011, p. 2) afirma que o BDS foi um dos primeiros projetos em BIM na história que teve sucesso em criar um banco de dados com informações de construção. Em 1992 foi publicado pela primeira vez o termo conforme conhecemos hoje, *Building Information Model* por Nederveen e Tolman (1992, p. 1), através das palavras-chaves do artigo.

Não existe uma definição única para BIM, normalmente cada instituição, empresa ou pesquisador descreve uma definição para o termo em que o significado acaba sendo similar, porém alguns mais abrangentes do que outros. No livro *BIM Handbook* que é bastante utilizado na Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), Eastman et al.(2011, p. 16) faz a seguinte definição para BIM:

> [...] definimos BIM como uma tecnologia de modelagem associada a um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos para construção. Modelos para construção são caracterizados por terem componentes de construção que são representados digitalmente e que carregam gráficos computáveis e atributos de dados que os identifica para os aplicativos, bem como regras paramétricas que permitem que sejam manipulados de forma inteligente [...]. (tradução nossa)

Para sanar eventuais dúvidas quanto ao conceito de BIM, Eastman et al. (2011, p. 19) define também o que não se enquadra como BIM:

- Modelos que contêm apenas dados 3D e nenhum ou poucos atributos dos objetos;
- Modelos que não são paramétricos, ou seja, que não permitem ou que onde são extremamente trabalhosos realizar o ajuste de posicionamento ou proporções de um determinado objeto;
- Modelos que são compostos de vários arquivos de referência de CAD 2D que devem ser combinados para definir o objeto 3D;
- Modelos que permitem alterações nas dimensões em uma vista que não são automaticamente refletidos em outras vistas.

Uma das principais necessidades de BIM é que os diversos sistemas, de diferentes fornecedores se comuniquem de forma que seja possível compartilhar os dados relativos ao modelo. Formatos de arquivo proprietários, que são aqueles que podem ser lidos somente por um software específico de um determinado fornecedor ou algum outro software autorizado, dificultam essa interação entre diversos produtos e sistemas. Essa interação entre sistemas é conhecida como interoperabilidade e é essencial para que uma equipe de projeto possa escolher o melhor sistema que atenda suas necessidades para cada tipo de atividade.

2.3 INDUSTRY FOUNDATION CLASS (IFC)

A atividade de AEC envolve diversos processos e mesmo que se escolha soluções de um único fornecedor de software para evitar problemas de interoperabilidade, dificilmente conseguiríamos todas as soluções necessárias para gerenciar as atividades de engenharia, planejamento e construção. Ter um formato de arquivo neutro para viabilizar essa interação entre sistemas sem perder os dados é algo que se busca a muito tempo, e uma iniciativa bastante robusta e conhecida é o *Industry Foundation Class* (IFC).

O IFC tem uma longa história pois nasceu de uma iniciativa, no ano de 1994, em que um consórcio de 20 empresas norte americanas começou a desenvolver iniciativas para viabilizar uma interoperabilidade entre os mais diversos sistemas. O grupo foi chamado inicialmente de *Industry Alliance for Interoperability* e posteriormente foi aberto para novos membros e em 1997 o grupo mudou de nome para *Internacional Alliance for Interoperability* (IAI). Por fim, o grupo foi reorganizado e se tornou uma organização internacional sem fins lucrativos e teve como objetivo publicar o IFC como um modelo neutro de dados para a indústria AEC considerando todo o ciclo de vida de um ativo. Em uma reunião do comitê executivo do IAI, em 2005, o grupo foi renomeado para *buildingSMART*. Hoje o grupo possui cerca de 450 membros corporativos em pelo menos 18 países (EASTMAN et al., 2011, p. 113).

O modelo em IFC contém as informações necessárias para viabilizar a troca de informações entre as mais diversas aplicações. Dessa forma, exportar os dados dos objetos nativos para um arquivo IFC é uma forma de transferir dados para outros sistemas. Podemos imaginar o IFC como sendo um arquivo PDF, você o exporta de um determinado programa e viabiliza a leitura do mesmo em outras aplicações, porém você não pode editá-lo. Por exemplo, um engenheiro estrutural modela a estrutura metálica de um galpão e exporta o arquivo em IFC para enviar para o responsável da equipe de elétrica que vai fazer o projeto elétrico desse galpão. Caso seja visto uma necessidade de mudança estrutural, deverá ser emitida uma nova versão do arquivo IFC com a mudança realizada pelo engenheiro estrutural. A Figura 11 mostra um fluxo em que o arquivo em IFC é referenciado em outra aplicação e viabiliza o intercâmbio entre sistemas diferentes.

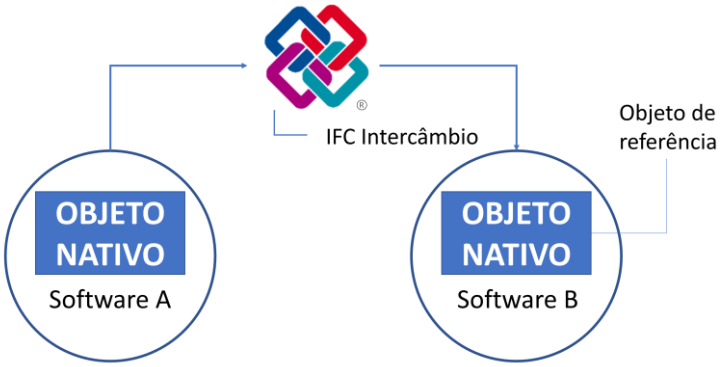


Figura 11 - Intercâmbio de informações entre sistemas usando IFC. Fonte: Baldwin (2018)

O IFC que vem sendo desenvolvido desde 1997, ano de lançamento da versão 1.0, recebeu diversas atualizações e hoje se encontra na versão 4. Devido a essas recorrentes atualizações, o IFC cada vez mais consegue representar mais entidades e relações. Ele foi desenvolvido em arquivos de texto e podem ser abertos em um visualizador de texto que suporte o formato de ASCII. A Figura 12 mostra um exemplo de como as informações são armazenadas, e mesmo sendo legível, ele foi feito para que um software interprete as informações contidas no arquivo (GRANI, 2016) .

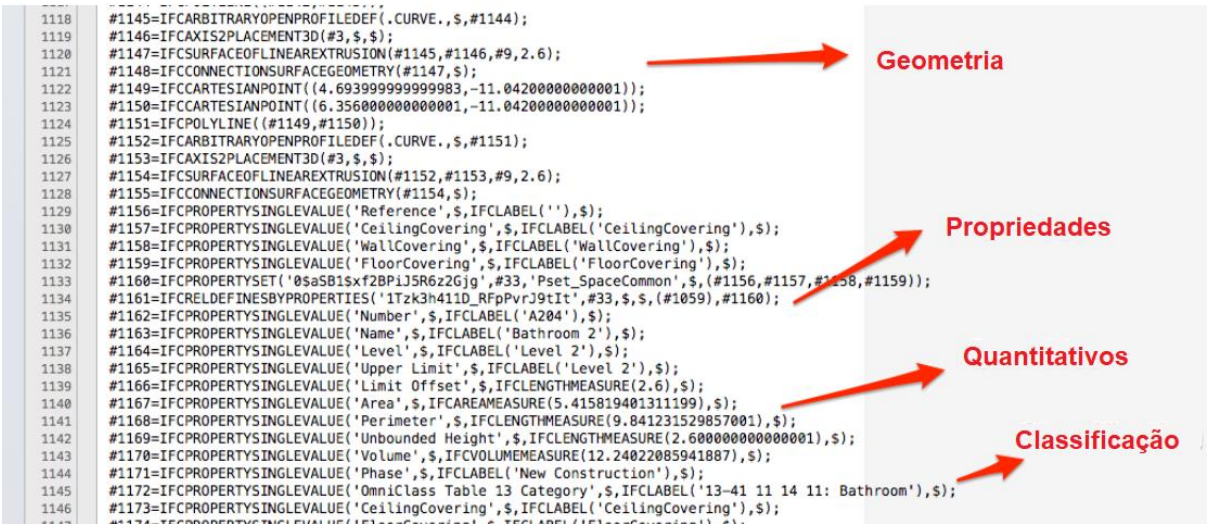


Figura 12 - Conteúdo de um arquivo IFC. Fonte: Grani (2016)

2.4 ALGORITMO DE BUSCA A*

Existem diversos algoritmos de busca, como os de busca cega ou não-informada, busca informada que também é conhecida como busca heurística, buscas populacionais e não populacionais, buscas com decisões determinísticas ou estocásticas, etc. Existem diversas pesquisas que avaliam a performance computacional desses diversos algoritmos de busca e que também avaliam e comparam os seus resultados, ou seja, o caminho encontrado por cada um.

Foi utilizado o algoritmo de busca heurística, pois ele não faz uma busca aleatória passando por todas as possibilidades, ele é orientado a seguir caminhos mais prováveis de serem o melhor resultado.

O algoritmo A*, lê-se A estrela, é um dos algoritmos mais importante para resolução de problemas de busca de caminhos, utilizado inclusive no campo da Inteligencia Artificial. Ele é utilizado para retornar rotas nos sistemas de GPS e também pode ser visto em uso de carros autômonos, por exemplo.

O asterisco (*) refere-se ao uso da informação heurística que foi uma convenção histórica de quando o algoritmo foi definido pela primeira vez em 1968 (HEINEMAN; POLLICE; SELKOW, 2009, p. 194).

Russel e Norvig (2013, p. 130) afirmam que o A* é o algoritmo mais amplamente conhecido de busca de melhor escolha pois ele escolhe a solução de menor custo que será completa e ótima. O algoritmo guia sua busca de forma inteligente, ao invés de seguir cegamente uma estratégia fixada.

O holandês Dijkstra (1959, p. passim) desenvolveu anteriormente um algoritmo de busca, que ganhou o seu sobrenome, que visava solucionar problemas de caminho mais curto. Posteriormente, Hart et al. (1968, p. passim) descreve pela primeira vez o algoritmo A*, onde a principal diferença entre esse dois algortimos é que o do Dijkstra não possuia uma função heurística que reduz o número de nós a serem expandidos durante o passo a passo da resolução do algoritmo.

Para verificar a lógica do A*, vamos utilizar um exemplo através de um grafo que é uma estrutura matemática que possui um conjunto finito de vértices e arestas, usada para respresentar relações entre objetos, ocorrências e eventos. Cada uma das arestas se conecta com dois vértices. O grafo da Figura 13 tem como representantes dos vértices, os nós descritos pelas letras de A a M, e as linhas que os conectam são as arestas. O ponto de partida será o nó A, e o objetivo será o nó K.

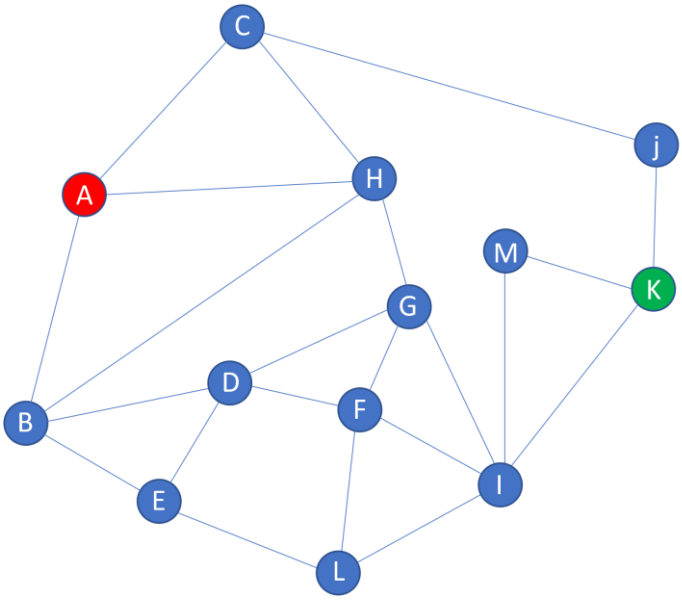


Figura 13 - Grafo de exemplo para realizar a busca de melhor caminho. Fonte: Autoria própria.

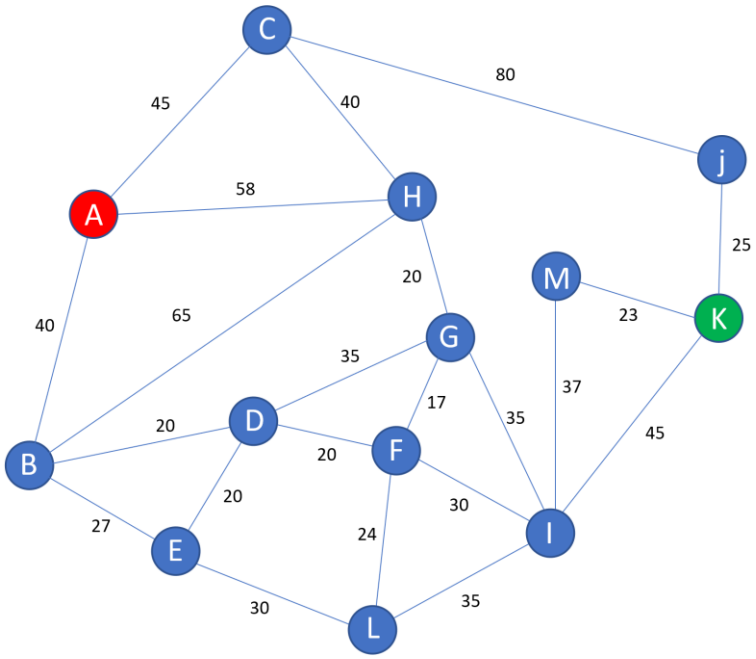
O algortimo A* avalia os nós através da combinação de $g(n)$, custo para alcançar o nó, e $h(n)$, o custo para ir do nó ao objetivo, sendo assim, o custo estimado da solucão de menor custo através de *n* será:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Dessa forma, se estamos tentando encontrar uma solução de menor custo, algo razoável para tentar em primeiro lugar é encontrar o nó com menor valor de $f(n)$. Se imaginarmos que os nós são cidades e as arestas são as estradas que as interligam, o $g(n)$ seria a distância total da estrada que interliga a origem a um determinado nó. Já o valor da função heurística $h(n)$ será a distância em linha reta entre o nó *n* e o objetivo, que no exemplo proposto da Figura 13 será o nó K. Considerar a distância em linha reta para a função $h(n)$ é admissível porque o caminho mais curto entre dois pontos quaisquer é uma linha reta, e então a reta não pode ser uma superestimativa (RUSSELL; NORVIG, 2013, p. 130).

Para o exemplo, segue na Figura 14, as distâncas entre os nós e a distância em linha reta de um determinado nó até ao objetivo K.

Distância entre nós



nós	h(n)
A	125
B	140
C	105
D	90
E	100
F	70
G	45
H	70
I	45
J	25
K	0
L	75
M	23

Figura 14 – Distâncias entre nós e em linha reta dos nós para o objetivo em K.
Fonte: Autoria própria.

A partir do nó A, origem, devem ser identificados os nós vizinhos que são aqueles que estão interligados pelas arestas. Os nós vizinhos de A são o B, C e H. A cada passo do algoritmo, o mesmo aumenta o conjunto de nós verificados pois ele vai analisar todos os respectivos vizinhos dos nós visitados. A Figura 15 mostra um retrato da primeira etapa da busca realizada pelo algoritmo A* onde o conjunto S, representado pela área cinzenta, identifica quais nós foram verificados pelo algoritmo. Nesse primeiro passo, o custo $g(n)$ será a distância da origem A com um dos nós vizinhos, que poderá ser o B, C ou H e parte heurística será a distância reta até ao objetivo K dos nós vizinho de A.

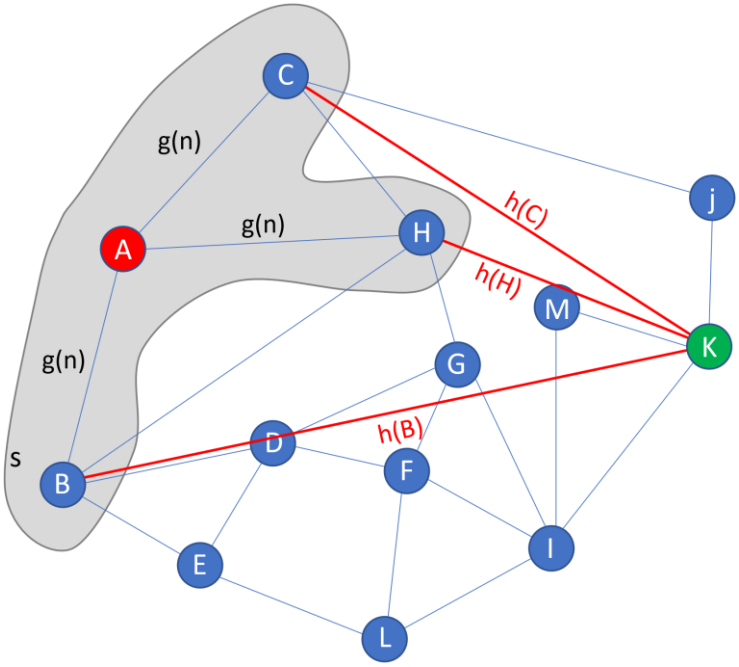


Figura 15 - Primeira etapa da Busca A*. Fonte: Autoria própria

A Figura 16 mostra as etapas que o algoritmo A* percorre para procurar uma solução para o problema. Ocorre a expansão da verificação no sentido dos nós que possuem o menor valor de custo e a verificação continua sempre que não houver um custo menor já verificado nas etapas anteriores. Nesse exemplo, ao chegar no nó G é estimado que o nó vizinho de menor custo para se deslocar será o nó I, porém o seu custo é maior do que um dos custos já verificado anteriormente, o que indica que há uma probabilidade de existir um caminho mais curto do que o que está sendo verificado agora.

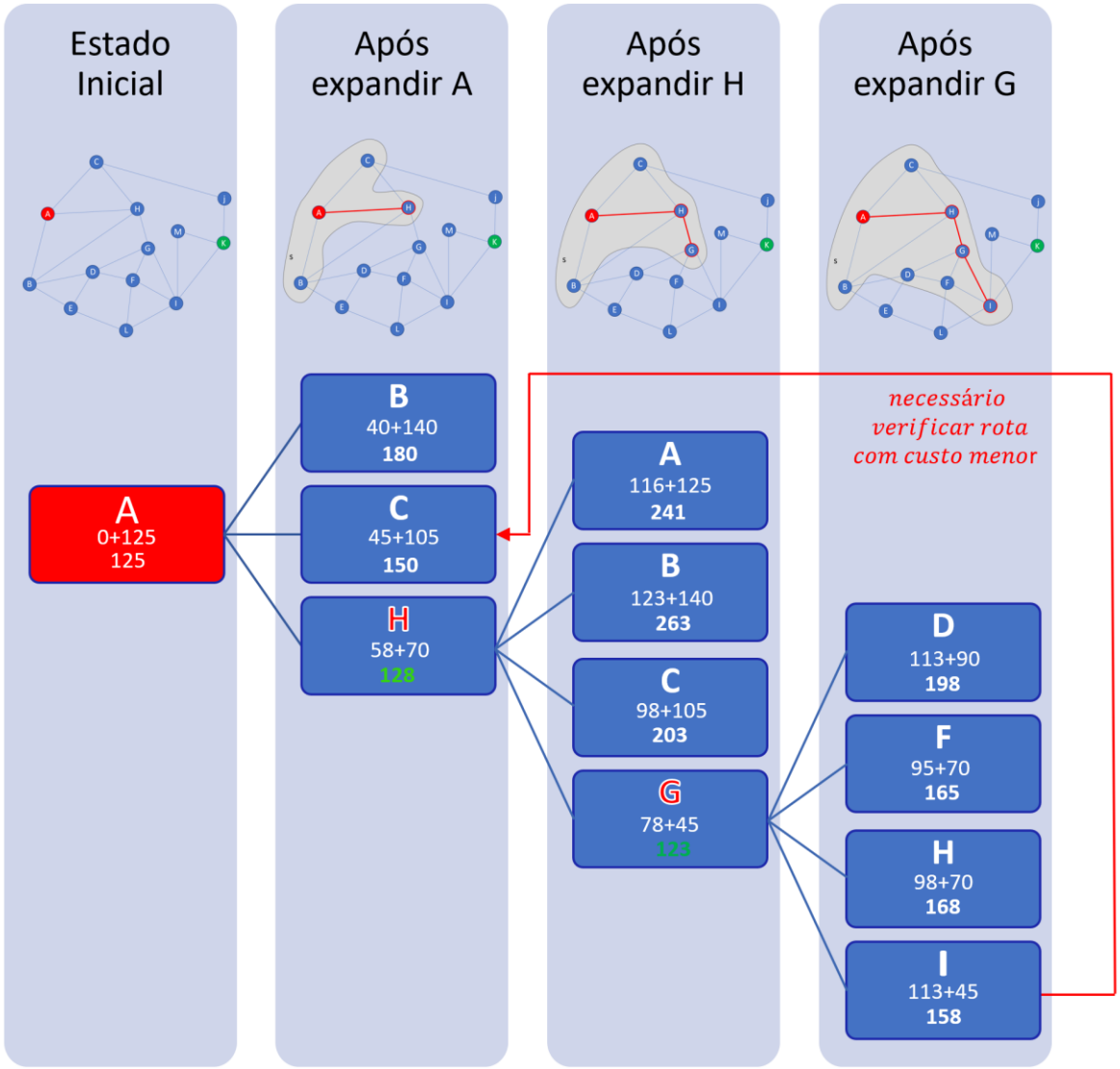


Figura 16 - Etapas da primeira tentativa de busca do algoritmo A* para K.
Fonte: Autoria própria.

Como foi identificado um custo menor para o nó C na expansão de A, o algoritmo A* retorna para esse nó com menor custo e continua com a verificação a partir desse novo ponto. O novo nó é o C e a rota a ser verificada é alterada passando por ele, conforme mostrado na Figura 17.

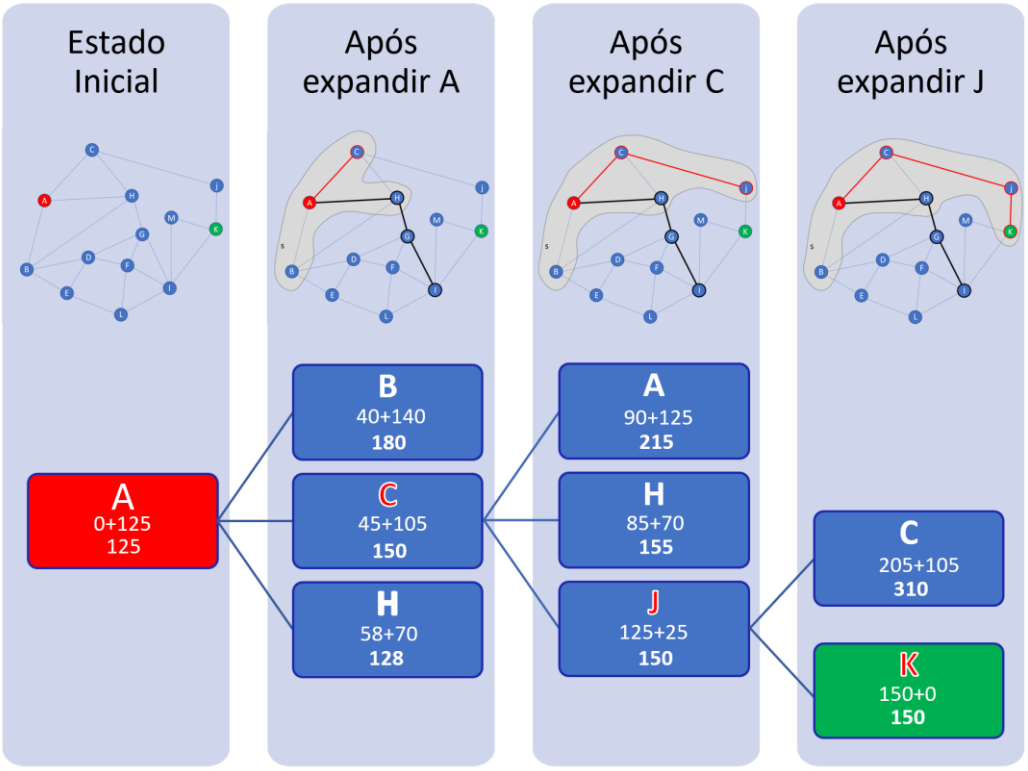


Figura 17 – Verificação de nova rota para resolução de busca do algoritmo A* para K. Fonte: Autoria própria

O custo total para chegar em K através dessa rota identificada pelo algoritmo é de 150 e como não existe nenhum outro custo já verificado com um valor abaixo desse, a busca é encerrada. A Figura 18 mostra a resolução da busca do algoritmo A* no grafo e podemos observar que para encontrar a solução ótima não foi necessário verificar todos os caminhos possíveis, reduzindo assim o custo computacional quando comparado a outros métodos de busca.

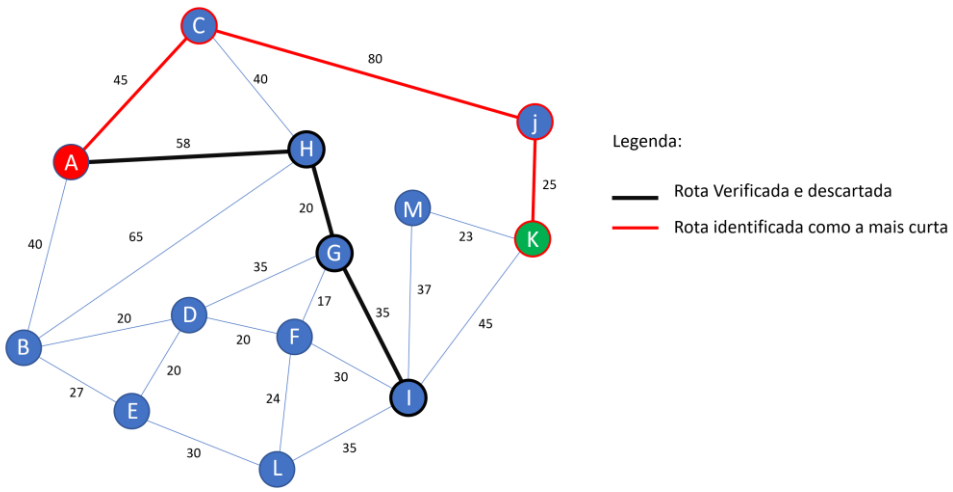


Figura 18 - Esquemático da resolução de busca do algoritmo A* para K. Fonte: Autoria própria

3 METODOLOGIA

Apresenta-se neste capítulo a metodologia proposta nesse trabalho para as atividades de movimentação de carga voltada para manutenção em uma plataforma de petróleo do tipo FPSO. Como são desenvolvidos dois sistemas, a metodologia proposta foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consiste no desenvolvimento de um painel de controle que tem o objetivo de trazer informações para ajudar o desenvolvimento de engenharia, verificando simultaneamente com o andamento do projeto o que deve ser projetado de facilidades de movimentação de carga para cada item da plataforma. Adicionalmente, será possível fazer estudos parametrizando as especificações dos guindastes de bordo para procurar otimizar esse recurso tão importante para o dia a dia operacional e de manutenção de uma plataforma. A segunda etapa é um complemento da primeira, pois após serem previstas facilidades de movimentação de carga será necessário verificar se existe uma rota reservada para movimentação desses itens, com o intuito de evitar que sejam projetados outros elementos nessa rota que uma determinada carga percorrerá.

Esses dois sistemas propostos, consomem informações de engenharia tais como a massa dos itens a serem movimentados, localização geográfica, frequência de manutenção, entre outras. Como foi abordado na seção 1.3, um dos temas bastante pesquisados hoje em dia está relacionado a interoperabilidade entre os mais diversos sistemas BIM e uma opção que está sendo utilizada é o uso de arquivos no formato IFC que foram criados justamente para servirem de um elo para os mais diversos sistemas. Para o funcionamento do painel de Controle e das verificações de rotas, o fluxo de informações pode ser de duas formas conforme mostrado na Figura 19.

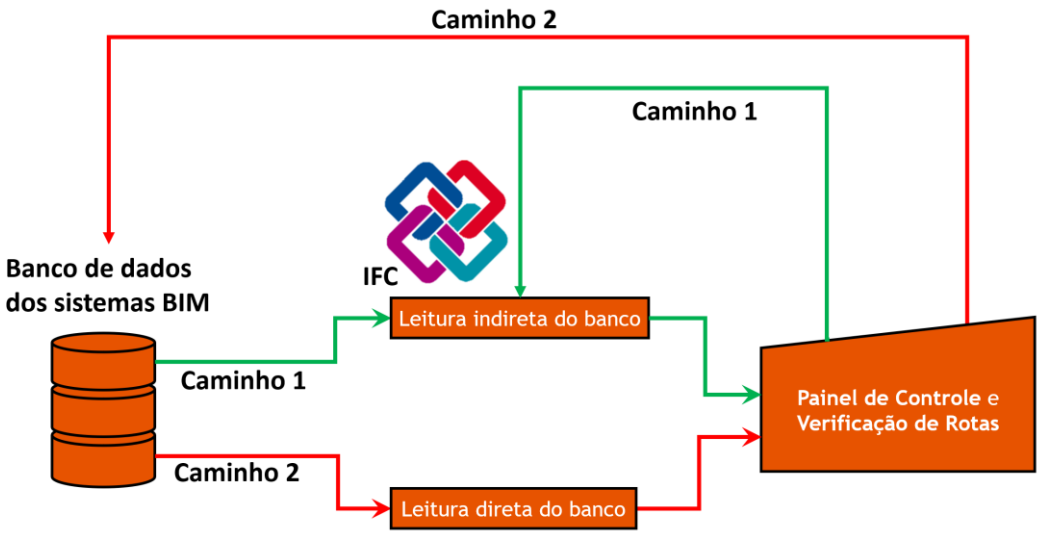


Figura 19 - Possíveis fluxos dos sistemas propostos nesse trabalho. Fonte: Autoria própria

Pelo caminho 1, da Figura 19, as informações serão consumidas de forma indireta pois o modelo 3D juntamente com os atributos dos objetos são exportados para um arquivo no formato IFC que poderá ser lido pelo painel de controle e para verificações das rotas. A grande vantagem desse caminho em relação ao caminho 2 é que o desenvolvimento do sistema proposto nesse trabalho poderia ser configurado uma vez e funcionaria para qualquer projeto independente do software BIM que esteja sendo utilizado. Porém, para verificar a metodologia proposta foram utilizadas planilhas exportadas diretamente do banco de dados das ferramentas BIM de um projeto de FPSO, pois um dos objetivos principais é a verificação da viabilidade de uso dos métodos de análise da atividade de movimentação de carga.

3.1 PAINEL DE CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA

Para automatizar qualquer verificação, precisamos que as informações necessárias estejam organizadas e disponíveis, o que chamamos de dados estruturados. Os dados estruturados são o que existe de melhor para tirar conclusões e fazer os processos fluírem, e a aplicação desse Painel depende de uma engenharia centrada em dados, ou seja, uma engenharia que utiliza o BIM em seus processos. As verificações que serão feitas dependem das informações de peso e frequência de movimentação dos itens que vão sofrer manutenção, e para que o Painel de Controle seja atualizado de forma simultânea com o desenvolvimento do projeto, essas informações precisam estar disponíveis. Possuindo as informações de engenharia necessárias, precisamos de regras claras para saber o que deve ser feito com elas e nesse caso, as verificações são realizadas com base em diretrizes de engenharia para a área de movimentação de carga. Cada operadora de E&P possui a sua diretriz interna com base na área de conhecimento da ergonomia e normas aplicáveis. Automatizar as verificações dessas diretrizes que são procedimentos pode ser um desafio, pois normalmente estão descritos de forma textual não estruturada, o que dificulta a implementação de algoritmos capazes de fazer a leitura e aplicar algum tipo de automação. É necessário ter regras objetivas pensando em verificações padronizadas e abrangentes. Dessa forma, a metodologia de desenvolvimento do Painel de Controle de movimentação de carga passa por uma adequação dessas diretrizes para depois iniciar a criação da ferramenta e finalmente disponibilizar para os usuários finais conforme mostrado no fluxograma da Figura 20.

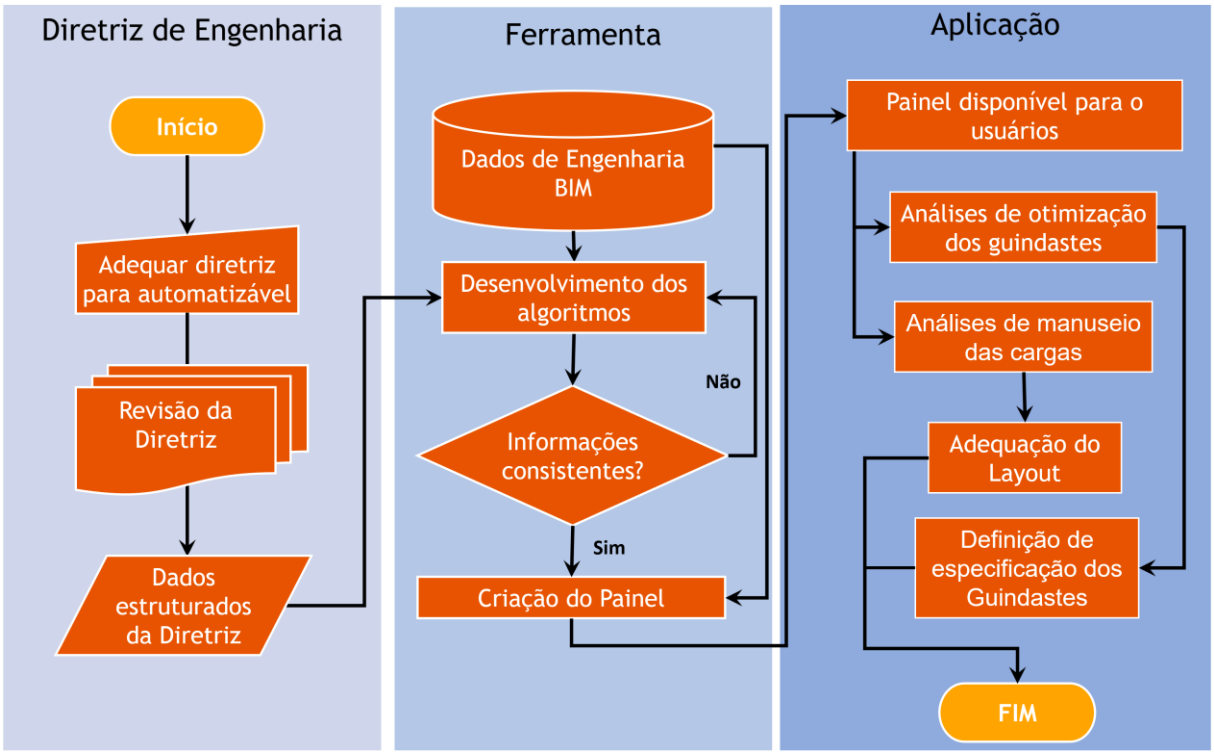


Figura 20 - Fluxo de desenvolvimento do Painel de Movimentação de Carga.
Fonte: Autoria própria

O desenvolvimento do Painel de Controle será explanado no âmbito da adequação da diretriz de engenharia e na criação da ferramenta em si. A aplicação da ferramenta desenvolvida será mostrada no Capítulo 5, resultado.

3.1.1 Adequação da diretriz de engenharia

O primeiro passo para automatizar verificações de requisitos de procedimentos ou normas, é tornar a linguagem natural contida nesses documentos em informações estruturadas, sem alterar o significado dos requisitos. Existem tecnologias capazes de lidar com informações não estruturadas, como por exemplo a análise semântica realizada no âmbito da Inteligência Artificial, que pode ser uma excelente opção, porém demanda maior conhecimento e desenvolvimento para ser implementada. Adequar a linguagem natural para uma escrita automatizável é o primeiro passo no desenvolvimento do Painel de Controle.

Focando especificamente na diretriz de movimentação de carga, ela tem o objetivo de definir requisitos de movimentação de carga para projeto de engenharia de uma plataforma de petróleo offshore. É definido como devem ser movimentados os diversos itens que vão sofrer manutenção ao longo da vida útil operacional da plataforma. Estruturar a informação pode ser simplesmente transcrever os requisitos em uma tabela em que seja possível consultar alguma

informação a depender de algumas variáveis. Dessa forma, foi criada uma tabela, em que temos como variável o peso e a frequência dos itens a serem movimentados. A depender desses dois fatores, é definido a forma com que o projeto deve prever a movimentação desses itens, conforme a Tabela 1. A informação contida na Tabela 1 é uma transcrição de requisitos da diretriz e cumpri-los para milhares de itens que vão sofrer manutenção torna-se um grande desafio. A equipe de projeto terá que conciliar os aspectos operacionais e de segurança prevendo facilidades e espaços adequados de manutenção para desenvolver o arranjo da plataforma.

Tabela 1 - Matriz de Movimentação de Carga.

<table>
<tr><th></th><th colspan="4">MATRIZ DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS</th></tr>
<tr><th></th><th colspan="2">Entre módulos ou da área de descarregamento até módulos</th><th colspan="2">Internamente aos módulos</th></tr>
<tr><th></th><th colspan="2">Frequência de operação de movimentação</th><th colspan="2">Frequência de operação de movimentação</th></tr>
<tr><th>Peso (t)</th><th>Diária / Semanal</th><th>Anual / Periódica / Ocasional</th><th>Diária / Semanal</th><th>Anual / Periódica / Ocasional</th></tr>
<tr><td>>25</td><td colspan="2">Não Permitido</td><td colspan="2">Guindaste Externo</td></tr>
<tr><td>1<X<25</td><td rowspan="2">Não Permitido</td><td>Carro manual de 4 rodas ou motorizado</td><td rowspan="2">Estrutura permanente e equipamento motorizado permanente</td><td>Estrutura permanente e equipamento motorizado</td></tr>
<tr><td>0,3<X<1</td><td>Carro manual de 4 rodas</td><td>Estrutura permanente/temporária e equipamento manual/motorizado</td></tr>
<tr><td>0,020<X<0,3</td><td colspan="2">Carro manual de 2 rodas</td><td colspan="2">Equipamento temporário ou Estrutura permanente/temporária e equipamento manual removível</td></tr>
<tr><td><0,020</td><td>Carro manual de 2 rodas</td><td>manual</td><td colspan="2">Manual</td></tr>
</table>

Fonte: Autoria própria

Os dados de entrada para verificação da Tabela 1 são os pesos dos itens a serem movimentados e a frequência de manutenção. Como o projeto é desenvolvido em ferramentas BIM, ele nasce em um ambiente 3D e os desenhos do projeto são apenas um retrato das informações que estão nesse banco de dados. Dessa forma, as informações de peso já estão incluídas no banco de dados de engenharia e adicionamos, portanto, apenas a informação de frequência de manutenção. Dessa forma, as duas variáveis dessa tabela serão disponibilizadas de acordo com o desenvolvimento do projeto.

3.1.2 Criação da ferramenta

Usar os dados para fazer análises, tomadas de decisão e monitoramento ficaram muito mais fáceis com a chegada dos aplicativos *Business Intelligence* (BI). Para fazer as verificações

de movimentação de carga foi usado o aplicativo da Microsoft chamado *Power BI*. Esses aplicativos possuem uma interface amigável para o usuário e permite uma manipulação dos dados de forma muito fácil. Para o Painel de Controle, pode ser realizada uma leitura diretamente no banco de dados e para verificação dos requisitos definidos na diretriz de movimentação de carga, grande parte das informações necessárias já se encontram nos bancos de dados das ferramentas BIM, como peso e as coordenadas que definem a localização física dos elementos que serão analisados, dos guindastes e das estruturas que, por ventura, podem obstruir o içamento. Além dessas informações, foi necessário gerar, no banco de dados do projeto, algumas tabelas com metadados baseados em regras que definem o raio de operação do guindaste para um determinado item a ser içado, além de uma classificação quanto a possibilidade de içamento sem interferência ou não. Com isso, todos os atributos necessários estavam disponíveis em um banco de dados único, o que facilita imensamente a geração do Painel de Controle. A Figura 21 mostra o fluxo verificado no Power BI para mostrar as informações no Painel de Controle.

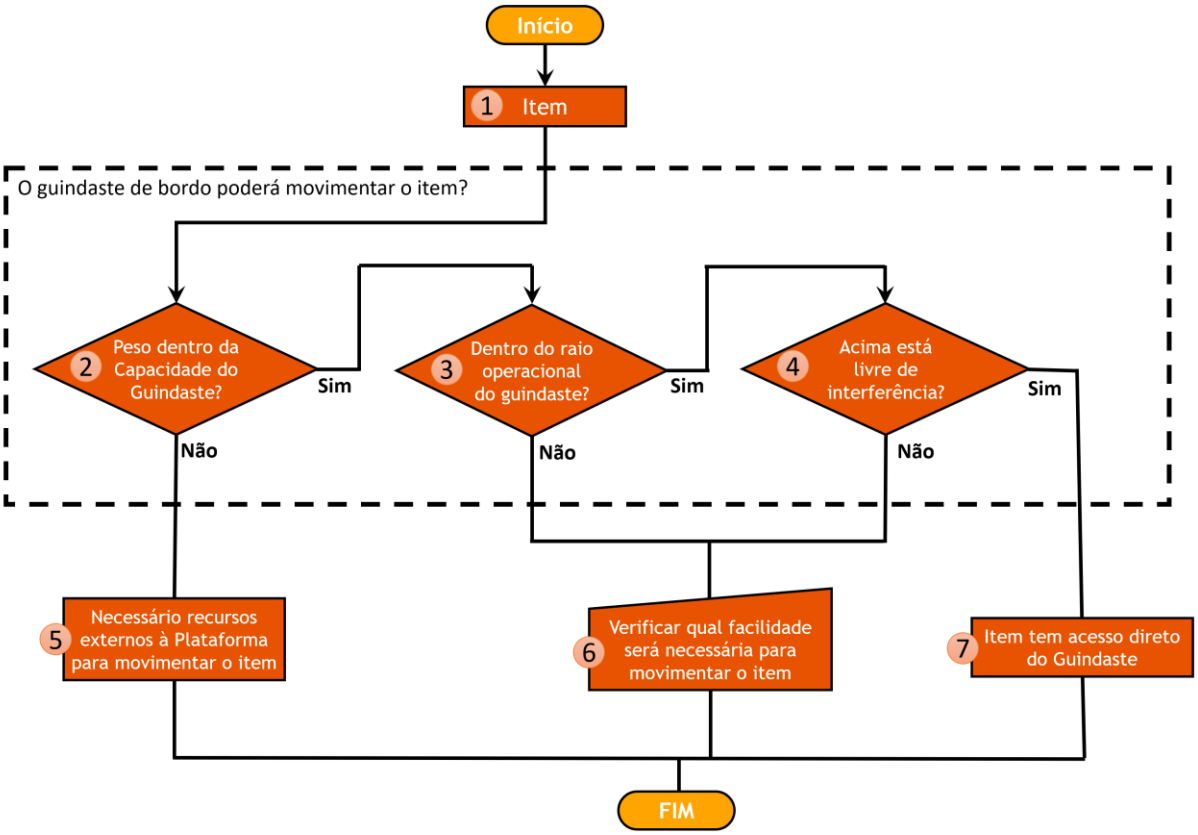


Figura 21 - Fluxo de verificação do algoritmo do Painel de Movimentação de Carga.
Fonte: Autoria própria

Nas seções seguintes de 3.1.2.1 a 3.1.2.5 serão detalhadas as 7 etapas do fluxograma apresentado na Figura 21:

3.1.2.1 Etapa 1 do Fluxograma: Item

Os itens que podem ser válvulas, equipamentos e instrumentos são extraídos diretamente do banco de dados das ferramentas BIM. Esses itens são os que podem sofrer movimentação de carga ao longo da vida operacional da plataforma. Cada item possui um código único, conhecido pela palavra inglesa *TAG*, que significa rótulo ou etiqueta. Todas as associações feitas no Painel de Controle serão referenciadas a um determinado *TAG*.

3.1.2.2 Etapa 2 do Fluxograma: Capacidade do guindaste VS peso dos itens

Se um determinado item não tiver o seu peso compatível com a capacidade de içamento dos guindastes da plataforma, mesmo que estejam dentro do raio de operação do guindaste e sem interferência, eles não poderão ser movimentados pelos recursos próprios da plataforma. No Painel de Controle, a capacidade do guindaste é parametrizável juntamente com seu raio operacional, pois essas duas variáveis são especificações importantes para definir qual o tamanho do guindaste previsto no projeto. Caso uma determinada carga que será movimentada durante a fase operacional tenha um peso superior a capacidade do guindaste, será necessário o uso de uma embarcação guindaste externa com capacidade para remover o item, conforme indicado na etapa 5 do fluxograma da Figura 21. No desenvolvimento do projeto é importante ter um bom gerenciamento dessas cargas cujo peso passa da capacidade do guindaste pois o custo de uma embarcação guindaste é muito elevado, e o Painel de Controle contribui para mapear essas cargas e ajuda a estudar uma parametrização do guindaste para verificar a viabilidade de atender a maior quantidade de cargas possível.

3.1.2.3 Etapa 3 do Fluxograma: Raio operacional do guindaste

Como foi apresentado na seção 2.1, Movimentação de cargas em uma fpso, o guindaste possui um raio de operação e assim atende apenas uma região específica da plataforma. O raio máximo e mínimo de operação são parametrizáveis no Painel de Controle para viabilizar estudos de otimização do guindaste, e verificar quais cargas ele terá acesso caso sejam alterados esses parâmetros. Para ser verificado se uma determinada carga está dentro desse raio de operação definido pelo usuário, será necessário criar a informação de distância entre o centro do pedestal do guindaste até o centro geométrico das cargas. No projeto que foi testado o Painel,

havia dois guindastes e dessa forma foi necessário verificar a distância de todos os TAGs para esses dois guindastes. Através das coordenadas do centro geométrico dos pedestais do guindaste e de uma consulta ao banco de dados das ferramentas BIM referente a coordenada de cada *TAG*, foi gerado uma nova planilha com uma linha para cada *TAG* com sua respectiva informação de distância para os dois guindastes. Essa informação de distância ficou em duas colunas, uma com o nome “Dist_GD_AFT” para o guindaste de ré e “DIST_GD_FWD” para o de vante.

3.1.2.4 Etapa 4 do Fluxograma: Interferência

Mesmo que uma carga tenha o peso compatível com a capacidade do guindaste, e esteja dentro do raio de operação, ainda assim pode existir alguma interferência acima dela, por exemplo uma viga, o que impedirá que o guindaste faça o içamento dessa carga. Uma verificação de interferência se faz necessário, portanto foi criada uma planilha dentro do banco de dados BIM, indicando quais cargas possuem alguma interferência com sua projeção vertical, sentido da coordenada Z, conforme mostrado na Figura 22.

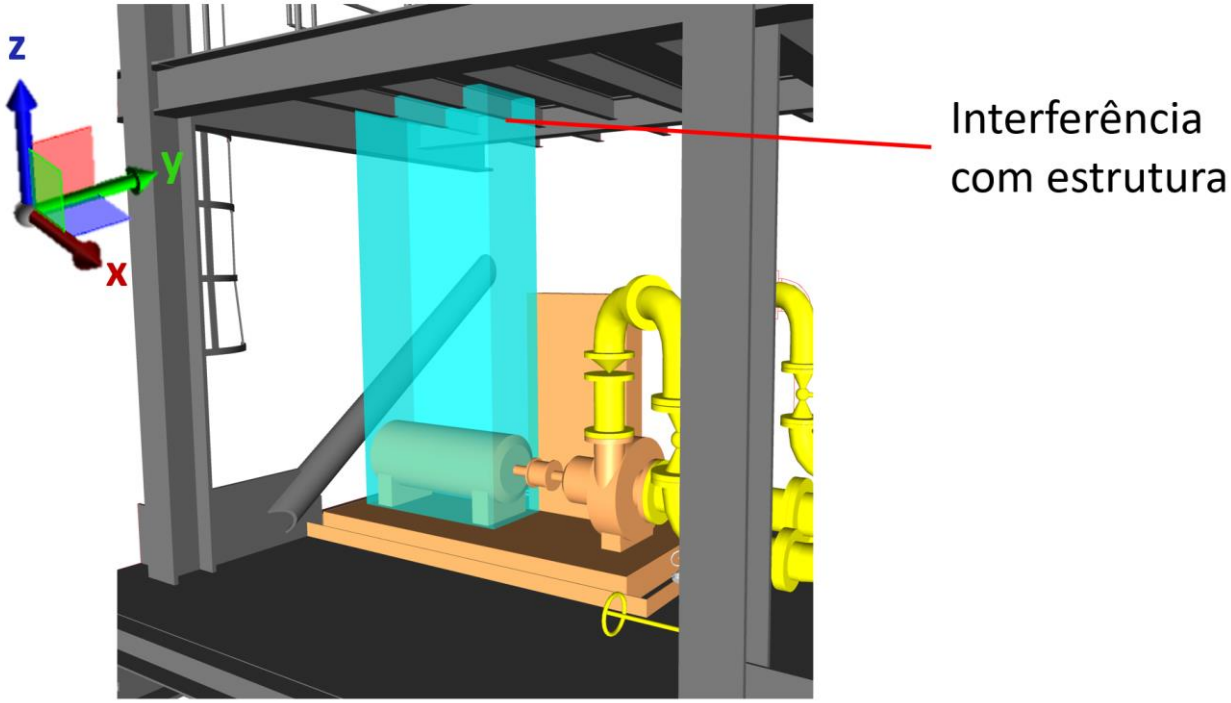


Figura 22 - Motor com interferência vertical que impede o seu içamento através de guindaste.
Fonte: Autoria própria

A verificação dessa interferência é feita de forma automática selecionando todos os elementos que estão dentro desse volume da projeção da carga avaliada.

3.1.2.5 Etapa 5, 6 e 7 do Fluxograma: Resposta das verificações

Conforme o fluxograma da Figura 21, caso o peso de um determinado item não esteja dentro da capacidade do guindaste, será necessário o uso de guindaste externo indicado na etapa 5. Porém, de acordo com a etapa 6, se um item tem seu peso dentro da capacidade dos guindastes próprios da plataforma, porém não esteja dentro do raio operacional do guindaste ou tenha algum tipo de interferência que impeça o seu içamento, deverá ser previsto algum tipo de facilidade para movimentá-lo até uma região que viabilize o seu içamento. As facilidades comumente utilizadas em uma FPSO são monovias com talhas, olhais, carrinhos, macaco hidráulico entre outros. Para verificar qual facilidade deverá ser prevista, o Painel consultará, de forma automática, os requisitos da matriz da Tabela 1.

A etapa 7 indica que caso um determinado item tenha seu peso compatível com a capacidade do guindaste, e esteja dentro do raio operacional, porém não tenha interferência que impeça o seu içamento, então não será necessário prever nenhum tipo de facilidade de movimentação de carga pois o guindaste tem acesso físico direto ao item. Movimentar as cargas diretamente pelo guindaste sem movimentações secundárias através de outros equipamentos de manuseio de carga é o ideal pois temos ganho em produtividade e segurança. Como a plataforma possui um layout complexo, com equipamentos em vários níveis, é impossível que os guindastes tenham acesso diretamente a todos os elementos, porém é muito importante que eles sejam dimensionados de forma a maximizar o seu uso.

3.1.2.6 O Painel de Controle de movimentação de carga

No software Power BI, utilizado para configurar o Painel de Controle, foram apontadas as planilhas geradas de raio de operação entre o guindaste e as cargas, e a planilha de informação de interferência, com a leitura do banco padrão e engenharia que contém as coordenadas dos itens, peso, código dos TAGs e frequência de manutenção. As regras da matriz de movimentação de carga, Figura 23, foram criadas diretamente no BI. A ferramenta desenvolvida ficou com dois painéis e o primeiro, apresentado na Figura 23, tem o foco de buscar a sua otimização dos guindastes a partir de verificações paramétricas de seu raio operacional e capacidade de içamento. Além disso é possível verificar de forma gráfica a localização dos itens na planta.

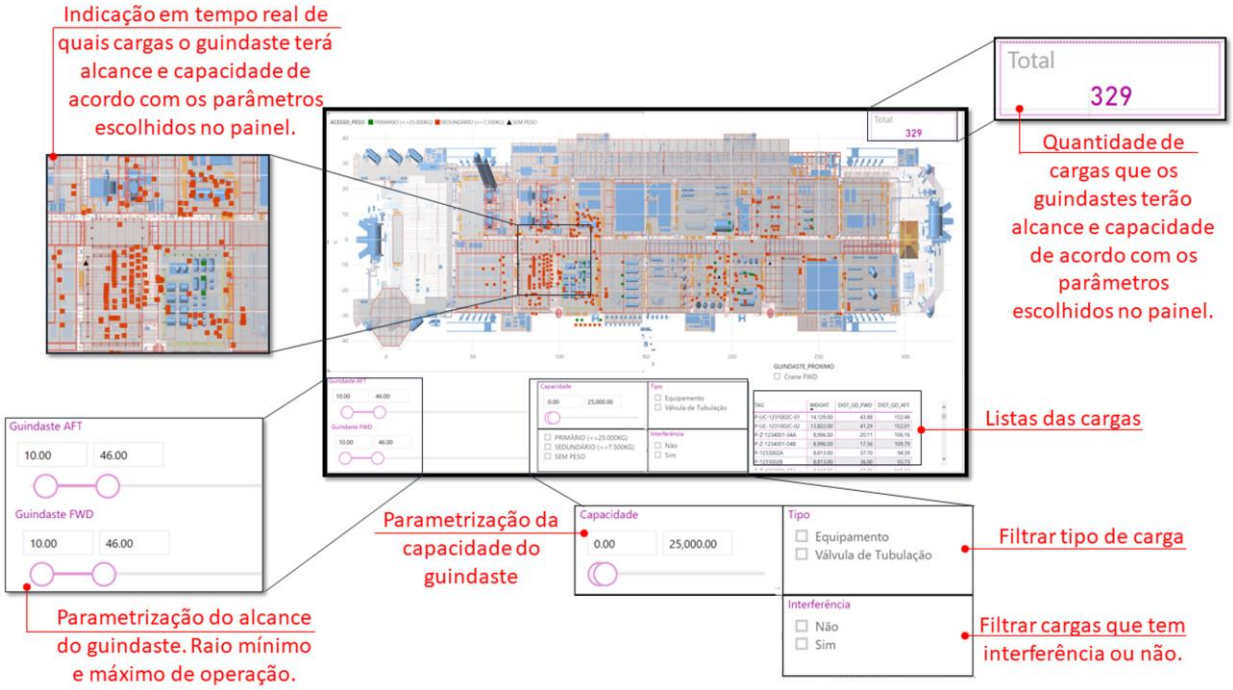


Figura 23 - Painel de Controle 1. Fonte: Autoria própria

Já o segundo painel, faz a verificação da etapa 6 do Fluxograma da Figura 21. A busca é feita pelo código do *TAG*, e o painel retorna qual é o peso desse item, o raio de operação para o guindaste mais próximo e qual deve ser a movimentação primária e secundária. A movimentação primária é aquela que vai tirar o equipamento da sua base, realizar uma movimentação vertical e um deslocamento horizontal para levar essa carga a um outro equipamento capaz de realizar a movimentação secundária, que seria o deslocamento até uma região que o guindaste tenha acesso. A movimentação primária é representada pela coluna verde e a secundária é representada pela coluna amarela da matriz de movimentação de cargas apresentada na Tabela 1. Essa matriz ficou anexada ao painel para servir de referência. A Figura 24 mostra o painel buscando informações para uma bomba, B-5111001A. As informações que extraímos desse painel é que o guindaste mais próximo dessa carga, guindaste de ré, está a 7,25 m de distância, o peso da bomba é de 13.742 kg e ela não possui interferência. De acordo com os parâmetros definidos para o guindaste no Painel 1, esse item, a bomba, pode ser transferida diretamente pelo guindaste de ré e não será necessário prever algum tipo de facilidade de movimentação de carga.

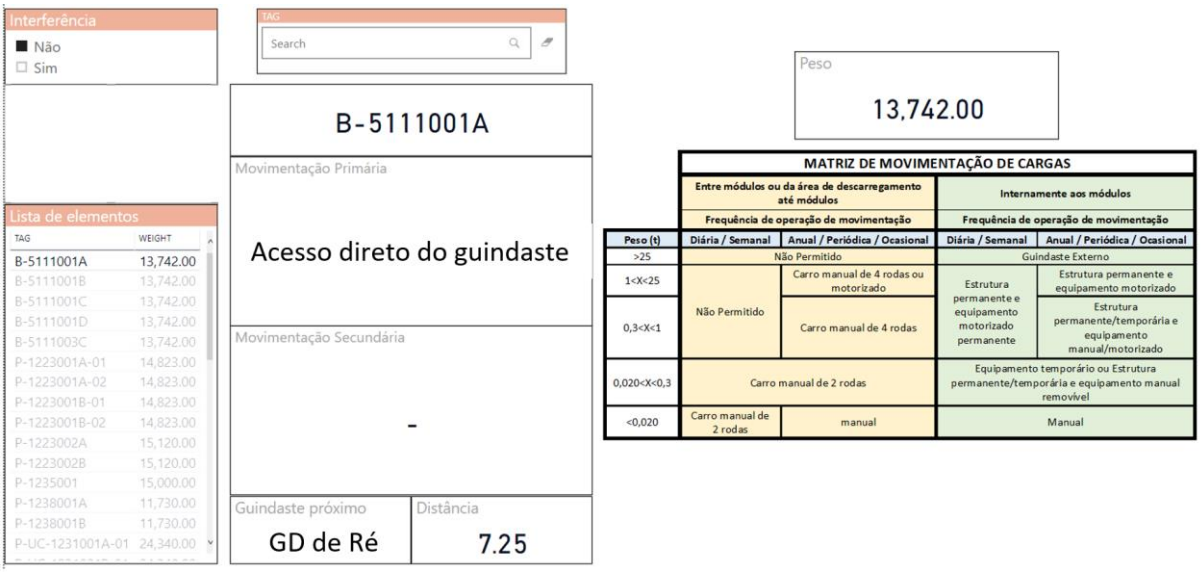


Figura 24 - Painel de Controle 2. Fonte: Autoria própria

3.2 VERIFICAÇÕES DAS ROTAS DE MANUTENÇÃO

Além da definição dos equipamentos adequados de movimentação de carga, é essencial que esteja reservado no arranjo da FPSO, espaços adequados para movimentar todos os itens necessários para se realizar manutenção. Como foi abordado na seção 1.3, alguns pesquisadores já utilizam do recurso de reservar espaço para viabilizar o acesso a um equipamento que precisa de manutenção. O que está sendo proposto é algo a mais, é a criação de volumes desde o item a ser movimentado, até o seu local de destino.

Devido à grande quantidade de itens em que deverão ser previstas as rotas de manutenção, ter uma verificação automatizada das rotas para todos esses itens é importante para melhorar a consistência do projeto.

3.2.1 Reserva das rotas de manutenção através de volumes

Será mostrado um exemplo de rota de manutenção para os equipamentos de uma unidade de compressão de gás, Figura 25, muito presente em uma FPSO. A unidade de compressão possui um equipamento que fornece a força motriz, que no caso é um motor elétrico (M-UC-1252001), um variador de velocidade (VV-UC-1252001) e o compressor (C-UC-1252001).

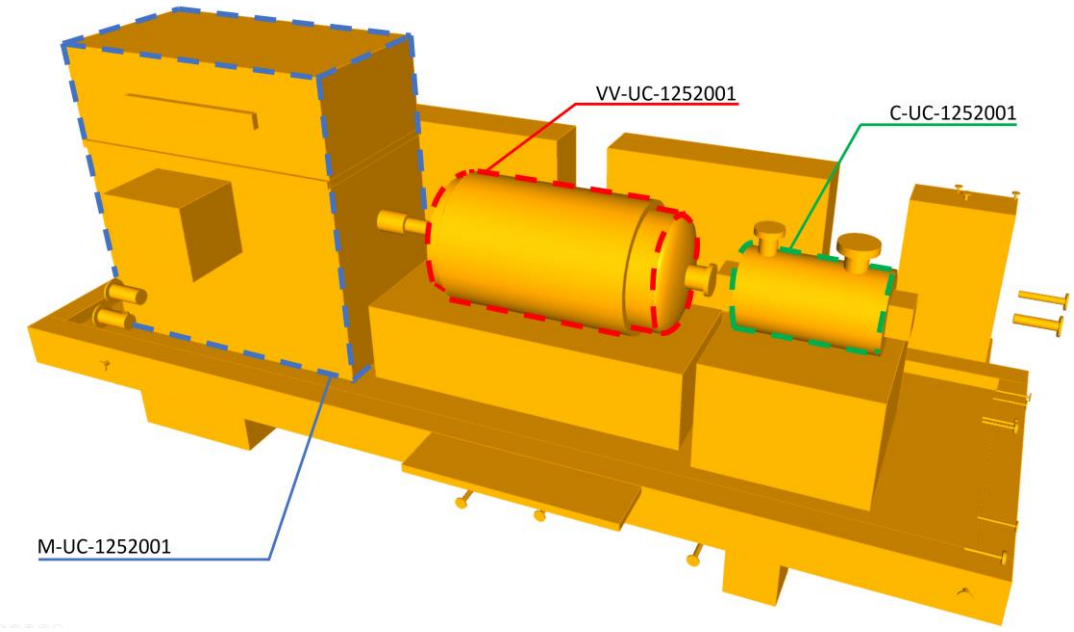


Figura 25 - Unidade de compressão de gás. Fonte: Autoria própria

A definição dessas rotas depende das interferências próximas de acordo com o arranjo, e para a movimentação do compressor foi prevista uma rota representada pelo volume vermelho da Figura 26. Essa rota vai em direção a rota principal que fica abaixo do *Pipe Rack Central*.

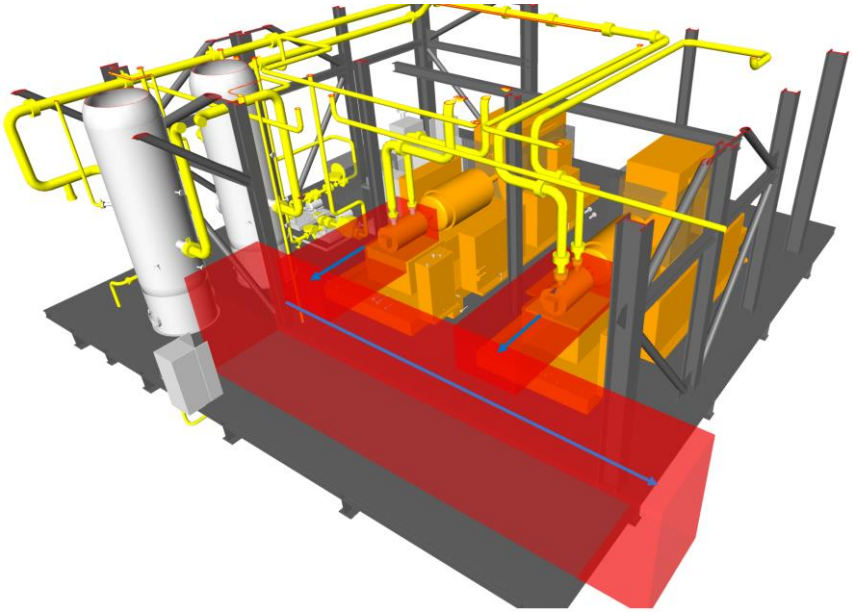


Figura 26 - Rota de manutenção dos compressores C-UC-1252001A/B. Fonte: Autoria própria

Devido às interferências, a rota do variador de velocidade foi direcionada para a região que fica entre as duas unidades compressoras, conforme indicado na Figura 27. A viga em azul

que está acima da rota de manutenção é a representação de uma monovia que vai auxiliar na movimentação dos variadores.

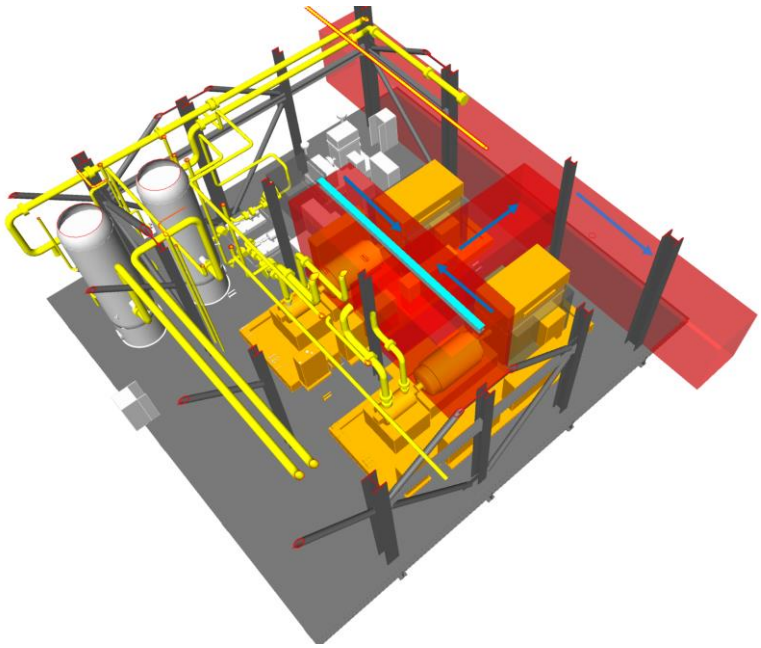


Figura 27 - Rota de manutenção dos variadores de velocidade VV-UC-1252001A/B. Fonte: Autoria própria

Os motores também possuem monovias para auxiliar a sua movimentação e a sua rota de manutenção sai na mesma direção que a dos variadores de velocidade, conforme mostrado na Figura 28.

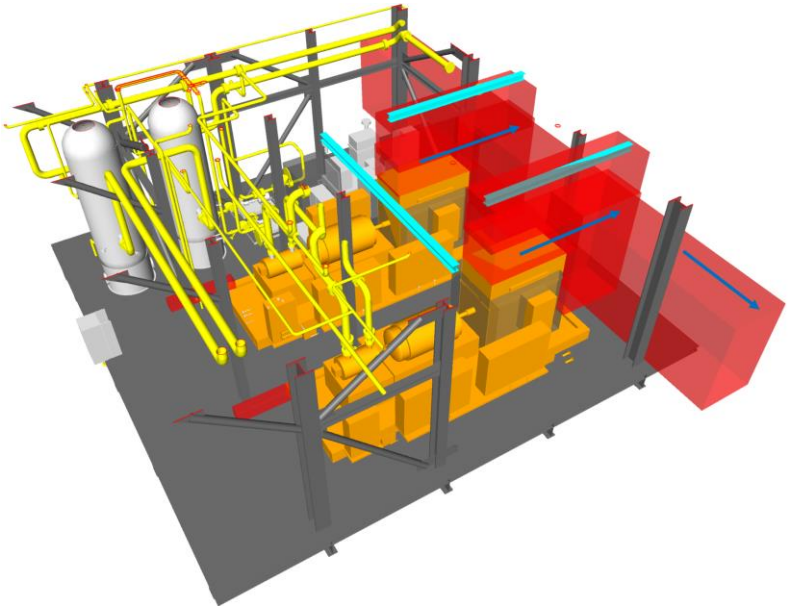


Figura 28 - Rota de manutenção dos motores M-UC-1252001A/B. Fonte: Autoria própria

As unidades compressoras se localizam no primeiro piso da FPSO e a Figura 29 mostra todas as rotas modeladas para esse piso. É indicada também a posição das rotas da unidade compressora e uma vista de planta dessa região onde esses equipamentos estão localizados. O volume da rota de manutenção deve ser criado considerando as dimensões do maior equipamento que vai passar por essa rota

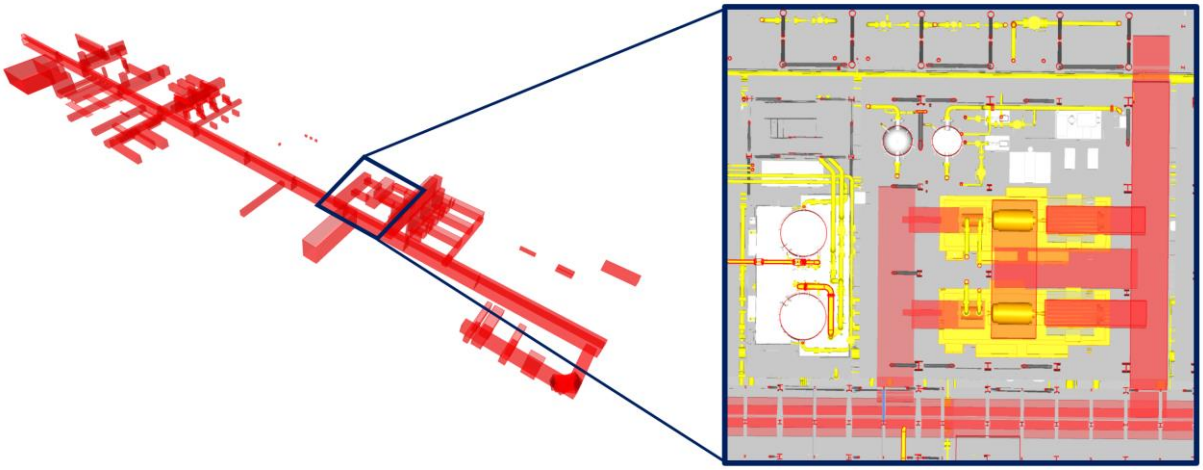


Figura 29 - Volumes das rotas de movimentação de carga do primeiro piso e localização das rotas da unidade compressora. Fonte: Autoria própria

De forma geral, o destino das cargas que não possuem acesso direto do guindaste costumam ser as áreas de *laydown*. É importante que as cargas tenham rota até uma dessas áreas disponíveis na FPSO. Criar volume reservando essas áreas, conforme Figura 30, é necessário para deixar todo o fluxo de material interligado através dos volumes.

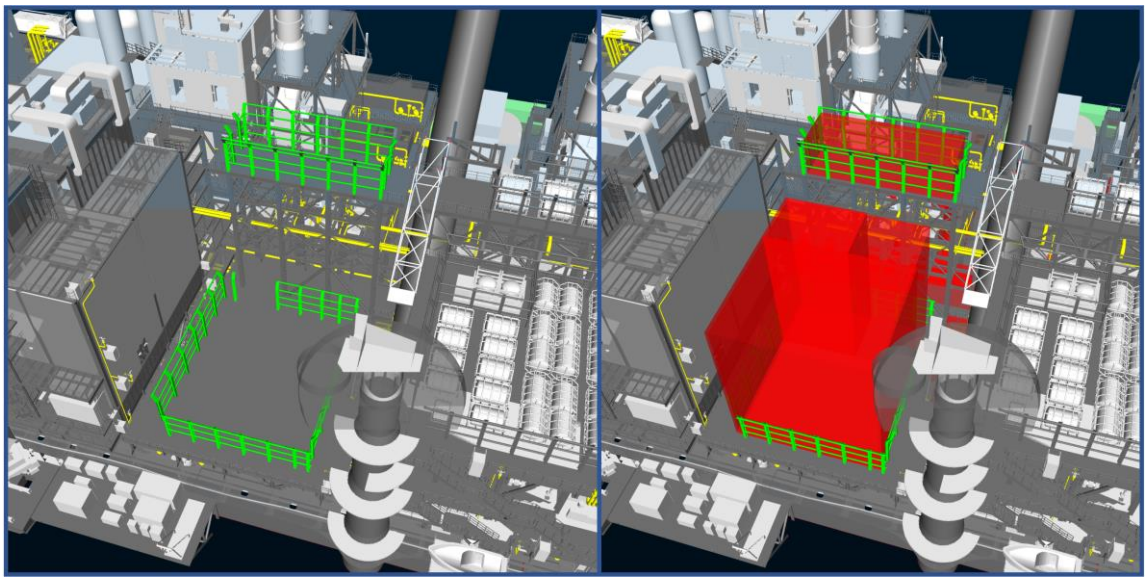


Figura 30- Reserva de volume para as áreas de *laydown*. Fonte: Autoria própria

Os volumes das rotas de manutenção foram manipulados no formato IFC. Como esses volumes possuem uma geometria de paralelepípedo, é possível gerar um arquivo IFC com as informações de coordenadas dos 8 vértices de cada paralelepípedo das rotas de manutenção. A Figura 31 mostra um trecho do código-fonte IFC para construção de um dos volumes da rota de manutenção da região dos compressores de gás. O código completo das rotas dessa região se encontra no Apêndice 7.2.

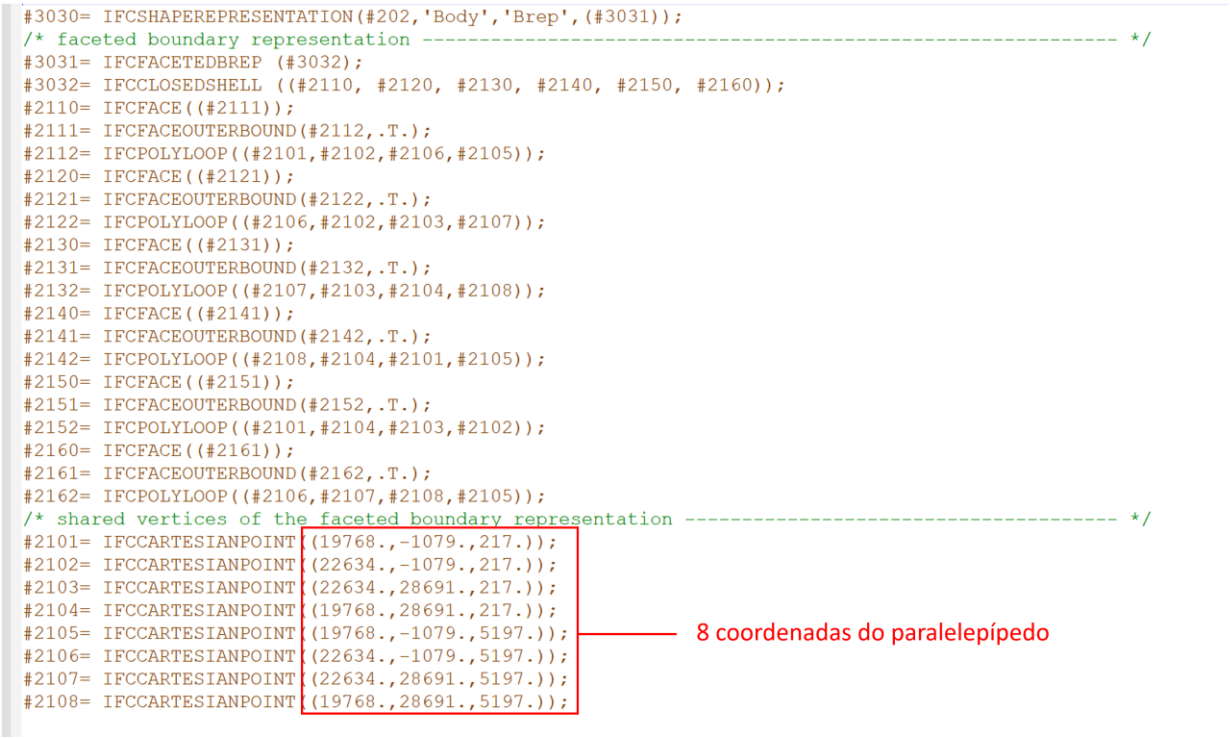


Figura 31 - Código-fonte IFC de um dos volumes das rotas de manutenção da unidade compressora de gás. Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Verificação automática das rotas

Nessa seção será mostrado um método de verificação automática de continuidade das rotas de manutenção, do local que a carga se encontra até um local de acesso ao guindaste de bordo. O algoritmo de busca A*, apresentando na seção 2.4, foi utilizado para essa verificação pois ele consegue verificar não só o caminho mais curto, mas também se existe alguma rota de um ponto para o outro. Para esse trabalho, a definição de rota será a reserva de espaço voltada para movimentação de carga para manutenção representada por volumes adicionados no modelo 3D. Já o termo caminho é utilizado para definir o resultado do algoritmo onde se indica em quais rotas a carga precisará passar para chegar no objetivo.

Para o funcionamento do algoritmo A*, é necessário definir os possíveis caminhos, que no exemplo da seção 2.4 foi um grafo. Para a verificação das rotas de movimentação de carga, os volumes de reserva foram definidos como os caminhos possíveis, e tudo aquilo que se encontra fora desse volume seria uma restrição à movimentação dos itens. O algoritmo completo se encontra no Apêndice 7.1.

Foi utilizada a linguagem de programação Python o desenvolvimento do algoritmo e esse aplicativo fornece uma biblioteca de manipulação de imagens, chamada *Python Imaging library* (PIL), que permite converter uma determinada imagem em um dado do tipo matriz. Essa transformação ocorre identificando os pixels, que é a menor unidade de uma imagem, e podemos definir um valor de acordo com as cores de cada pixel. Para evitar algum tipo de erro na leitura, foi extraída uma imagem de planta dos volumes das rotas de movimentação de carga deixando-as em branco e o que estivesse fora desses volumes em preto, tornando-a uma imagem monocromática (binarizada), conforme mostrado na Figura 32.

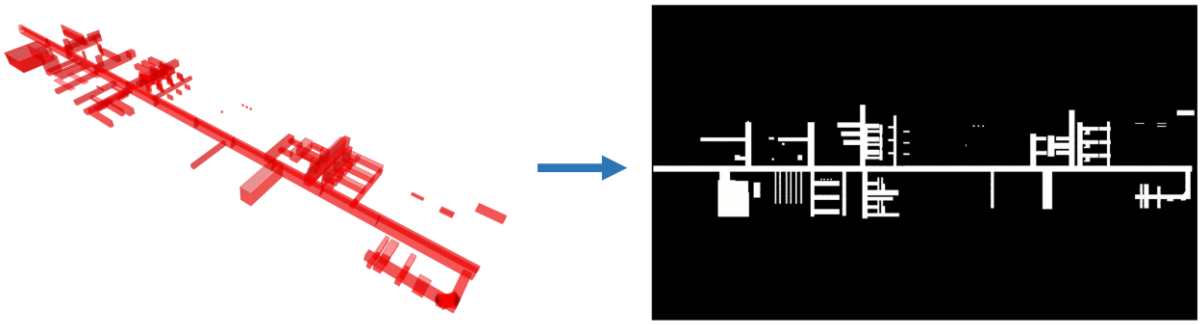


Figura 32 - Conversão das rotas em uma imagem monocromática. Fonte: Autoria própria

Todos os pixels da imagem criada que estão na cor preta foram identificados como uma restrição e todos os pixels na cor branca foram identificados como um possível caminho a ser percorrido pelo algoritmo de busca A*. Como a imagem representa a planta de um determinado nível, que na imagem da Figura 32 é a planta do primeiro nível, é necessário a criação da imagem para todos os níveis, para que seja possível verificar a rota de todas as cargas da FPSO.

O início da verificação do caminho tem como referência as coordenadas no plano x e y, de cada item a ser verificado. Esses itens a serem verificados devem estar localizados na elevação da planta, e podem ser identificados definindo qual é a faixa da coordenada z da elevação. Em alguns bancos de dados BIM, a informação de qual elevação cada item pertence já está disponível. Como a verificação do caminho é feita em uma imagem, é necessária a conversão das coordenadas extraídas do banco das ferramentas BIM para as coordenadas em

pixel da imagem. Foram extraídas as informações de coordenadas, em 4 pontos comuns, em metros no modelo 3D e em pixel na imagem, conforme mostrado na Figura 33.

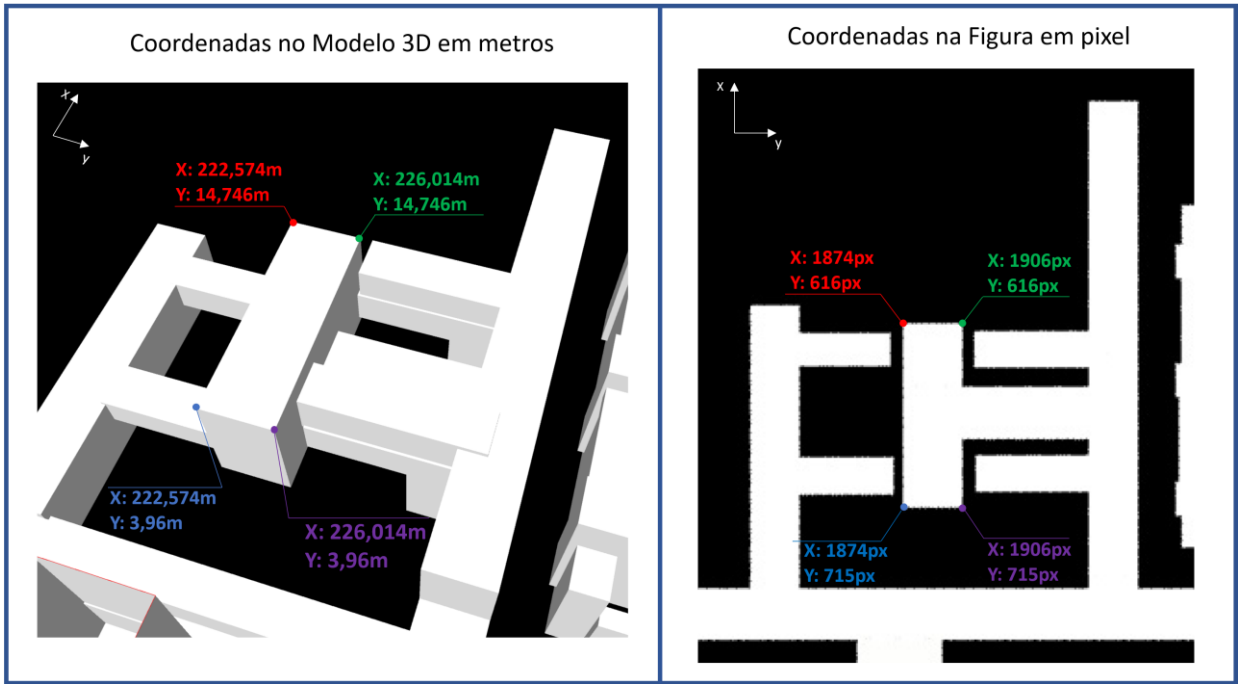


Figura 33 - Conversão das coordenadas em metros para pixel. Fonte: Autoria própria

A partir dessas coordenadas, as funções de conversão foram definidas. Segue função para transformar as coordenadas no modelo 3D, *x* e *y*, para as coordenadas em pixel, $\boldsymbol{P_x}$ **e** $\boldsymbol{P_y}$**,** no eixo x:

$$\begin{cases} 222{,}574 \cdot a + b = 1874{,}000 \\ 226{,}014 \cdot a + b = 1906{,}000 \end{cases} \longrightarrow \quad a = 9{,}302 \;\; e \; b = -196{,}383$$

$$\boldsymbol{P_x(x) = 9{,}302 \cdot x - 196{,}383}$$

Segue função para o eixo y:

$$\begin{cases} 14{,}746 \cdot a + b = 616{,}000 \\ 3{,}960 \cdot a + b = 715{,}000 \end{cases} \longrightarrow \quad a = -9{,}178 \;\; e \; b = 751{,}340$$

$$\boldsymbol{P_y(y) = -9{,}178 \cdot y + 751{,}340}$$

A linguagem Python possui algumas bibliotecas capazes de consumir informações de um banco de dados, e a biblioteca chamada Panda foi a escolhida. Essa biblioteca é capaz de manipular e fazer análise de dados, porém foi utilizada somente para extrair a informação de coordenadas dos itens.

As coordenadas que serão o objetivo de chegada das cargas serão as coordenadas de todas as áreas de *laydown* daquele piso que está sendo verificado. O algoritmo desenvolvido

vai buscar o caminho de um determinado item para todas as áreas de *laydown* disponíveis, porém vai considerar somente o caminho mais curto verificado, e assim cada carga terá apenas uma rota identificada. Para os itens que não foi identificado uma rota de movimentação, será criado uma cruz vermelha na coordenada desse item.

Os equipamentos da unidade compressora UC-1252001 mostrados na seção anterior tinham próximo a eles uma área de *laydown* e o algoritmo identificou a rota até essa área de *laydown*. A Figura 34, mostra uma linha em vermelho plotada na imagem monocromática pelo algoritmo desenvolvido, identificando que existe uma rota reservada dos compressores até a área de *laydown*.

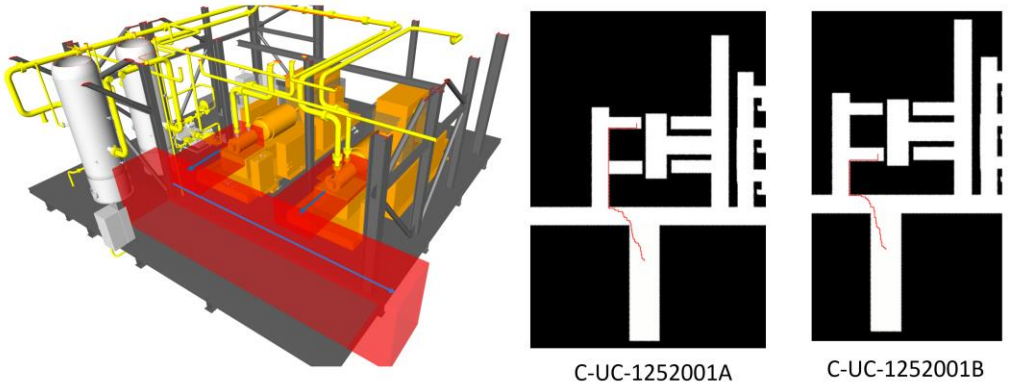


Figura 34 - Rotas para C-UC-1252001A/B identificadas pelo algoritmo de busca A*.
Fonte: Autoria própria

Na Figura 35, mostra-se a rota identificada pelo algoritmo para os dois variadores de velocidade da unidade compressora UC-1252001.

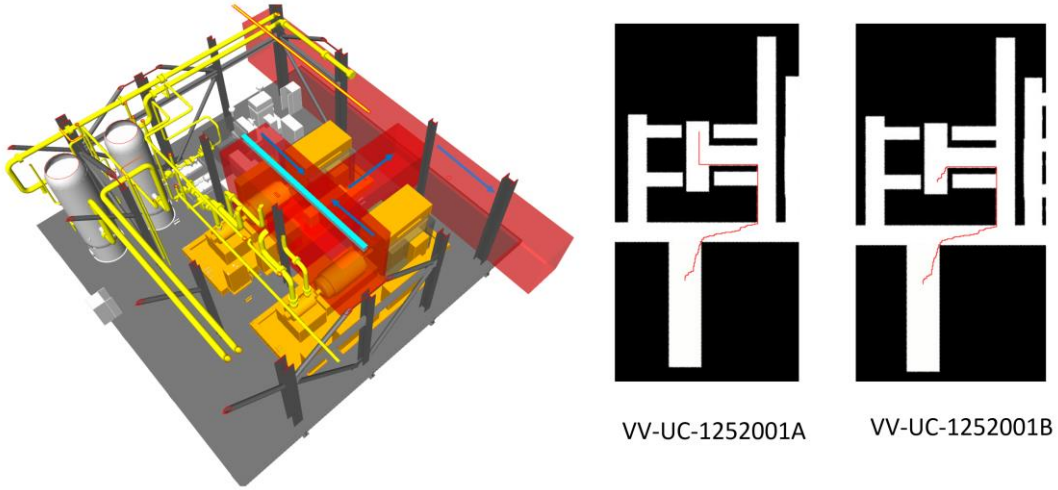


Figura 35 - Rotas para VV-UC-1252001A/B identificadas pelo algoritmo de busca A*.
Fonte: Autoria própria

Na Figura 36 também é possível ver a rota identificada pelo algoritmo, mas dessa vez para os dois motores da unidade compressora UC-1252001.

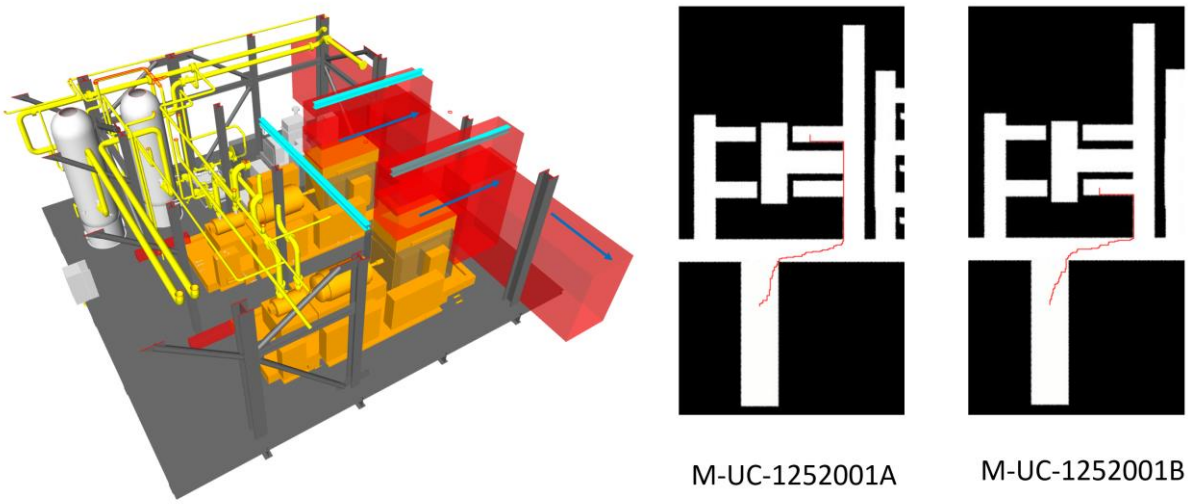


Figura 36 - Rotas para M-UC-1252001A/B identificadas pelo algoritmo de busca A*.
Fonte: Autoria própria

Caso em algum trecho do percurso a ser movimentado por esses equipamentos da unidade compressora não houvesse um volume reservando essa rota, o algoritmo irá acusar que para esse determinado equipamento não existe ainda uma previsão de rota. A linha traçada na figura monocromática dificulta a identificação de qual rota essa linha está se referindo, e como essa roda é uma sequência de coordenadas de pixel, é possível fazer o algoritmo plotar essa mesma linha em cima do desenho de planta da unidade. Na seção resultado, serão verificadas as rotas plotadas no desenho de planta.

4 RESULTADO

4.1 PAINEL DE CONTROLE DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGA

O painel foi utilizado com os dados de um projeto básico de FPSO, e após remoção de todos os filtros, foram encontrados 1052 itens que podem ser movimentados ao longo da vida operacional da plataforma. Na Figura 37, cada ponto na planta em vermelho ou preto é a localização dos itens, porém os que estão em preto significa que ainda falta ser preenchido o atributo de peso no banco de dados das ferramentas BIM. A quantidade de itens estava correta de acordo com banco de dados, e a localização deles na planta serve apenas de referência visto que eles estão em diversas elevações diferentes e a imagem escolhida para planta mostra apenas o último piso de todos os módulos.

Figura 37 – Itens identificados pela Painel de Controle. Fonte: Autoria própria

Após parametrização do guindaste de vante, foram identificados 70 itens que teriam acesso direto do guindaste, ou seja, sem interferências e que estavam dentro do raio e capacidade parametrizados. Essas informações podem ser vistas na Figura 38, onde mostra os valores parametrizados e o resultado do total de cargas atendidas por essa configuração. Com posse dessas informações a equipe de projeto pode verificar se uma mudança de configuração do guindaste viabilizaria a movimentação de mais itens ou podem estudar também se uma mudança de arranjo pode trazer ganhos para a atividade de movimentação de carga. Por

exemplo, mudar um equipamento de posição ou abrir um furo no piso superior que esteja impedindo o acesso direto do guindaste para um equipamento que seja crítico de movimentação pode ser uma das percepções verificadas pela equipe de projeto ao usar esse painel.

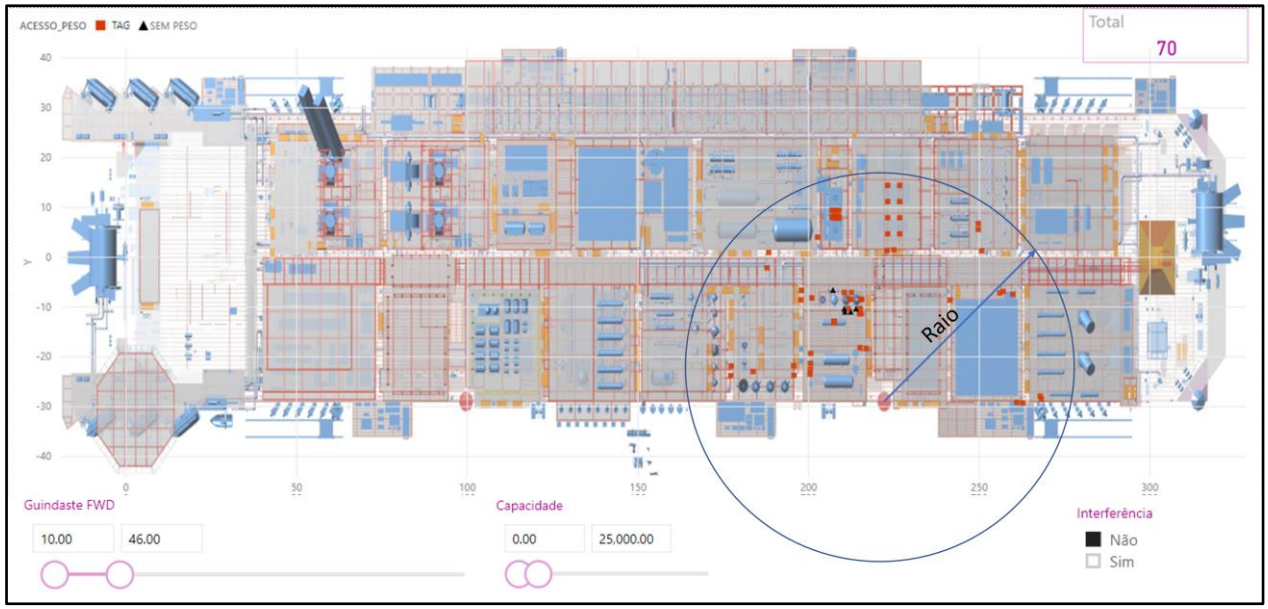


Figura 38 - Parametrização do guindaste de vante. Fonte: Autoria própria

No segundo painel, através da busca por *TAGs*, onde é realizada uma verificação automática da matriz de movimentação de carga, foi verificado qual seria o método de manuseio de dois permutadores que estão em posições distintas como mostrado na Figura 39.

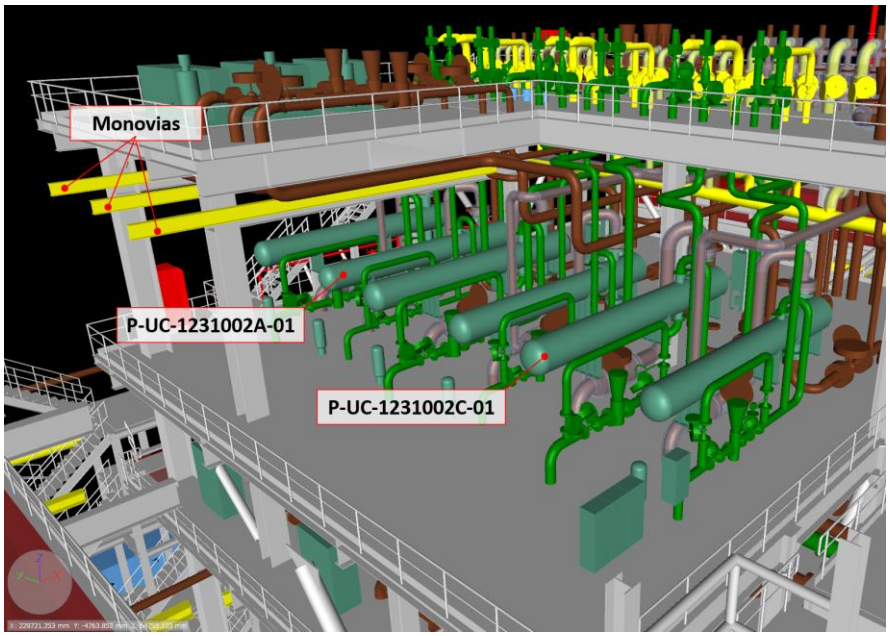


Figura 39 - Permutadores que necessitam ser movimentados para manutenção. Fonte: Autoria própria

Os permutadores analisados são os indicados pelos *TAGs* P-UC-1231002A-01 e P-UC-1231002C-01. Esses permutadores são do tipo feixe fixo e quando necessária sua manutenção, que é classificada como ocasional, é preciso removê-los inteiros. Como pode ser visto na Figura 39, o permutador P-UC-1231002A-01 está em um local coberto pelo patamar superior, ou seja, o guindaste não conseguiria fazer o seu içamento mesmo que tivesse alcance e capacidade necessária. Já o Permutador P-UC-1231002C-01, apesar de estar no mesmo nível do permutador citado anteriormente, está em uma região descoberta em que o patamar superior não interfere.

Na Figura 40 mostra-se a pesquisa realizada para os dois permutadores no painel 2. É possível saber se o item está com interferência para o içamento, o raio de operação necessário com o guindaste que é indicado no quadro distância, qual o guindaste mais próximo que poderá realizar o içamento, e a verificação da matriz de movimentação indicada nos quadros movimentação primária e secundária.

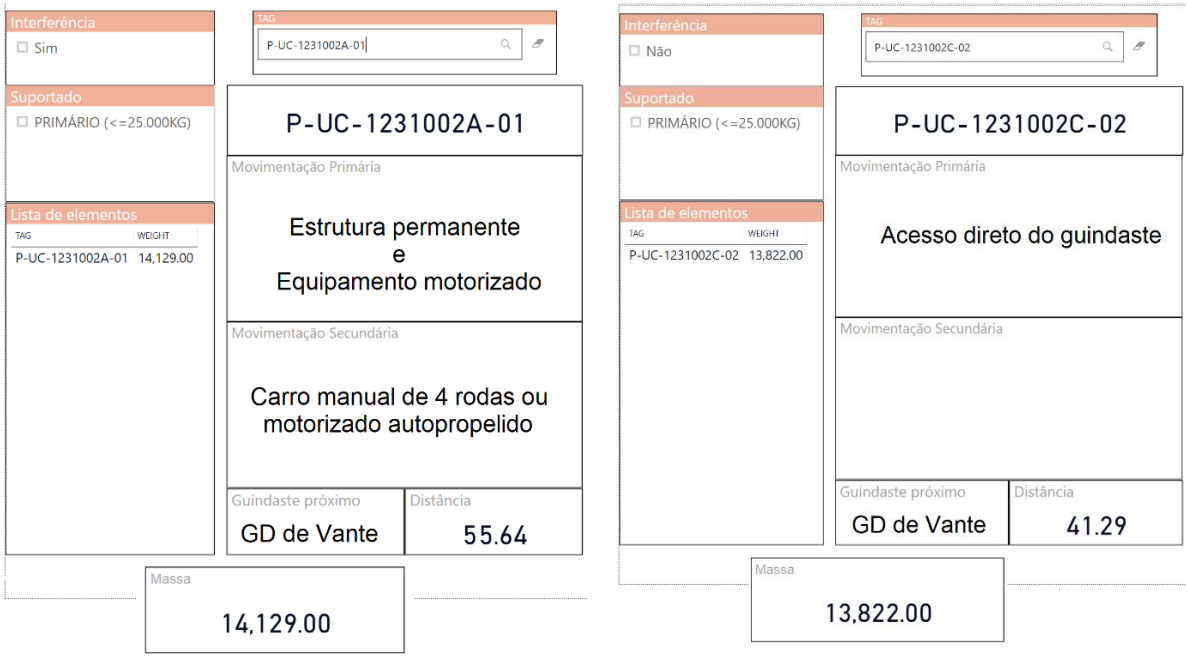


Figura 40 - Verificação da matriz de movimentação de carga para os permutadores P-UC-1231002A-01 e P-UC-1231002C-02. Fonte: Autoria própria

A interferência do patamar superior do permutador P-UC-1231002A-01, foi identificada e devido a massa de 14.129 kg, será necessário prever uma estrutura permanente e equipamento motorizado para realizar a movimentação do permutador até um local que o guindaste tenha acesso. Como pode ser visto na Figura 39, está previsto para esse permutador uma monovia que

é a estrutura permanente que vai suportar uma talha elétrica para realizar a movimentação desse permutador até o primeiro patamar, para posteriormente ser movimentado através de carrinho de 4 rodas até um local que o guindaste alcance. O outro permutador, P-UC-1231002C-02 que não tem interferência, está a uma distância de 41,29 m do guindaste de vante que tem capacidade para içá-lo. Os limites operacionais do guindaste estavam parametrizados para 46m de raio máximo e 25 t de capacidade.

4.2 VERIFICAÇÕES DAS ROTAS DE MANUTENÇÃO

Para testar o algoritmo, foram extraídos 50 equipamentos do banco de dados que estão localizados no primeiro piso da plataforma avaliada, mostrados na Tabela 2. Foram extraídas também as informações de *TAG* e coordenadas de localização que foram convertidas para as coordenadas em pixel. Essas informações foram exportadas para uma planilha de excel (formato *xlsx) para leitura do algoritmo.

Tabela 2 - Lista de itens que a rota de manutenção foi verificada

ITEM	TIPO	TAG	MÓDULO	x	y	PISO	Px	Py
1	Equipamento	M-UC-1252001A	M07	229,13137	13,1117891	1_deck	1935	631
2	Equipamento	M-UC-1252001B	M07	229,023866	5,81172369	1_deck	1934	698
3	Equipamento	VV-UC-1252001A	M07	224,616212	13,1117891	1_deck	1893	631
4	Equipamento	VV-UC-1252001B	M07	224,616212	5,81172369	1_deck	1893	698
5	Equipamento	C-UC-1252001A	M07	221,176091	13,1117891	1_deck	1861	631
6	Equipamento	C-UC-1252001B	M07	221,176091	5,81172369	1_deck	1861	698
7	Equipamento	M-UC-1231001A	M03	242,246829	18,3416866	1_deck	2057	583
8	Equipamento	M-UC-1231001B	M03	242,246829	11,1505775	1_deck	2057	649
9	Equipamento	M-UC-1231001C	M03	242,246829	4,28633689	1_deck	2057	712
10	Equipamento	VV-UC-1231001A	M03	246,00946	18,3416866	1_deck	2092	583
11	Equipamento	VV-UC-1231001B	M03	246,00946	11,1505775	1_deck	2092	649
12	Equipamento	VV-UC-1231001C	M03	246,00946	4,28633689	1_deck	2092	712
13	Equipamento	C-UC-1231001A	M03	250,524618	18,3416866	1_deck	2134	583
14	Equipamento	C-UC-1231001B	M03	250,524618	11,1505775	1_deck	2134	649
15	Equipamento	C-UC-1231001C	M03	250,524618	4,28633689	1_deck	2134	712
16	Equipamento	C1-UC-1254001A	M02	270,305311	-13,037699	1_deck	2318	871
17	Equipamento	C1-UC-1254001B	M02	270,305311	-21,645239	1_deck	2318	950
18	Equipamento	C2-UC-1254001A	M02	272,992905	-13,037699	1_deck	2343	871
19	Equipamento	C2-UC-1254001B	M02	272,992905	-21,645239	1_deck	2343	950
20	Equipamento	G-UC-1254001A	M02	279,228123	-13,037699	1_deck	2401	871
21	Equipamento	G-UC-1254001B	M02	279,228123	-21,645239	1_deck	2401	950
22	Equipamento	C-UC-1231001A	M05	116,252419	-9,8779691	1_deck	885	842
23	Equipamento	C-UC-1231001B	M05	116,252419	-17,178034	1_deck	885	909
24	Equipamento	C-UC-1231001C	M05	116,252419	-24,4781	1_deck	885	976
25	Equipamento	M-UC-1231001A	M05	107,329607	-9,8779691	1_deck	802	842
26	Equipamento	M-UC-1231001B	M05	107,329607	-17,178034	1_deck	802	909
27	Equipamento	M-UC-1231001C	M05	107,329607	-24,4781	1_deck	802	976
28	Equipamento	VV-UC-1231001A	M05	112,167276	-9,8779691	1_deck	847	842
29	Equipamento	VV-UC-1231001B	M05	112,167276	-17,178034	1_deck	847	909
30	Equipamento	VV-UC-1231001C	M05	112,167276	-24,4781	1_deck	847	976
31	Equipamento	B-5124001A	M15	117,112449	20,0849858	1_deck	893	567
32	Equipamento	M-B-5124001A	M15	120,337562	20,0849858	1_deck	923	567
33	Equipamento	B-5124001B	M15	118,940013	15,5088255	1_deck	910	609
34	Equipamento	M-B-5124001B	M15	122,380133	15,5088255	1_deck	942	609
35	Equipamento	B-5124001C	M15	120,982584	11,0416213	1_deck	929	650
36	Equipamento	M-B-5124001C	M15	124,315201	11,0416213	1_deck	960	650
37	Equipamento	B-1223003A	M10	199,782842	14,2013511	1_deck	1662	621

38	Equipamento	M-B-1223003A	M10	197,525263	14,2013511	1_deck	1641	621
39	Equipamento	B-1223003B	M10	199,782842	12,0222271	1_deck	1662	641
40	Equipamento	M-B-1223003B	M10	197,525263	12,0222271	1_deck	1641	641
41	Equipamento	B-1223003C	M10	199,782842	10,0610155	1_deck	1662	659
42	Equipamento	M-B-1223003C	M10	197,525263	10,0610155	1_deck	1641	659
43	Equipamento	B-5331001B	M10	188,924962	12,5670081	1_deck	1561	636
44	Equipamento	M-B-5331001B	M10	187,204902	12,5670081	1_deck	1545	636
45	Equipamento	B-5331001A	M10	188,924962	15,3998693	1_deck	1561	610
46	Equipamento	M-B-5331001A	M10	187,204902	15,3998693	1_deck	1545	610
47	Equipamento	B-Z-UT-1251003-A	M11	160,00645	20,6297668	1_deck	1292	562
48	Equipamento	M-B-Z-UT-1251003-A	M11	161,619007	20,6297668	1_deck	1307	562
49	Equipamento	B-Z-UT-1251003-B	M11	160,00645	18,6685552	1_deck	1292	580
50	Equipamento	M-B-Z-UT-1251003-B	M11	161,619007	18,6685552	1_deck	1307	580

Fonte: Autoria própria

Os equipamentos de 1 a 36 da Tabela 2 tinham rotas reservadas no modelo 3D e os itens de 37 a 50 estavam sem rota de movimentação de carga definida até alguma área de *laydown*. O algoritmo conseguiu verificar todas as rotas para esses 36 primeiros equipamentos e ainda retornou o caminho para a área de *laydown* mais próxima. Já para os equipamentos de 37 a 50, o algoritmo marcou uma cruz vermelha nas suas coordenadas de localização indicando que esses itens não tinham rotas definidas. O resultado foi plotado, pelo algoritmo, na planta geral do primeiro piso conforme mostrado na Figura 41.

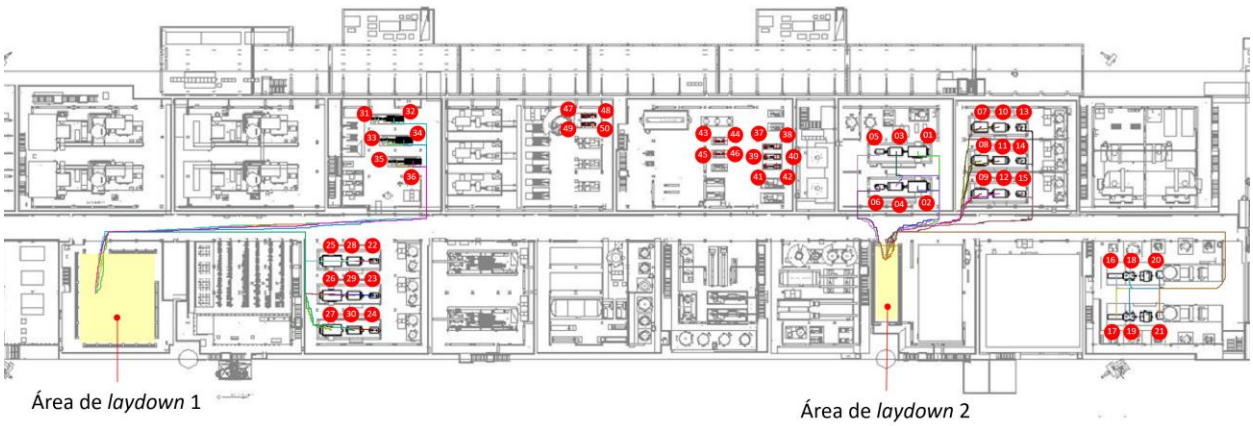


Figura 41 - Rotas verificadas pelo algoritmo de busca A*. Fonte: Autoria própria

Para verificar com melhor detalhes as rotas identificadas pelo algoritmo, as Figuras 40, 41 e 42 mostram as rotas para a área de *laydown* 2, rotas para área de *laydown* 1 e itens sem rotas respectivamente.

Figura 42 - Rotas dos equipamentos para a área de *laydown* 2. Fonte: Autoria própria

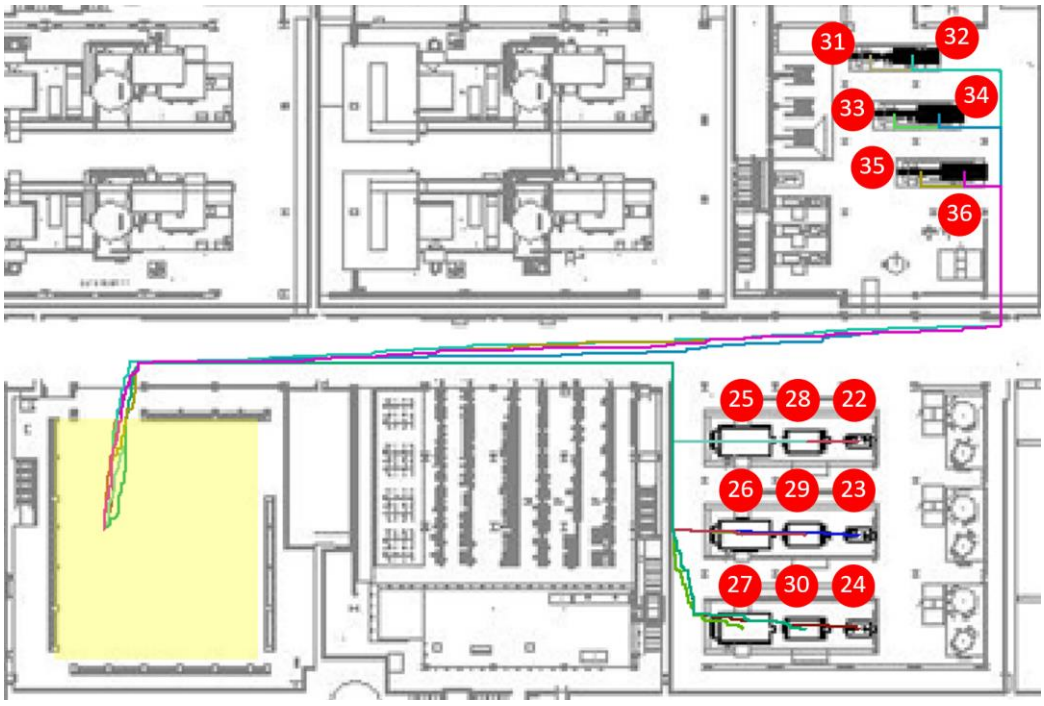


Figura 43 - Rotas dos equipamentos para área de *laydown* 1. Fonte: Autoria própria

Figura 44 - Itens que não tinham rota definida. Fonte: Autoria própria

O algoritmo também gera uma lista com os itens que estão sem rota e os que já possuem uma rota válida, conforme mostrado na Figura 45. O algoritmo poderia escrever um atributo sobre a existência de uma rota válida diretamente no banco de dados, visto que a biblioteca Panda do Python permite esse tipo de escrita.

```
D:\Documentos\UFF\Python\venv\Scripts\python.exe D:/Documentos/UFF/Python/venv/Pathfinder_total.py
Itens que estão sem rota:

Item 37 - B-1223003A
Item 38 - M-B-1223003A
Item 39 - B-1223003B
Item 40 - M-B-1223003B
Item 41 - B-1223003C
Item 42 - M-B-1223003C
Item 43 - B-5331001B
Item 44 - M-B-5331001B
Item 45 - B-5331001A
Item 46 - M-B-5331001A
Item 47 - B-Z-UT-1251003-A
Item 48 - M-B-Z-UT-1251003-A
Item 49 - B-Z-UT-1251003-B
Item 50 - M-B-Z-UT-1251003-B

Itens que estão com rota:

Item 1 - M-UC-1252001A
Item 2 - M-UC-1252001B
Item 3 - VV-UC-1252001A
Item 4 - VV-UC-1252001B
Item 5 - C-UC-1252001A
Item 6 - C-UC-1252001B
Item 7 - M-UC-1231001A
Item 8 - M-UC-1231001B
Item 9 - M-UC-1231001C
Item 10 - VV-UC-1231001A
Item 11 - VV-UC-1231001B
Item 12 - VV-UC-1231001C
Item 13 - C-UC-1231001A
Item 14 - C-UC-1231001B
Item 15 - C-UC-1231001C
Item 16 - C1-UC-1254001A
Item 17 - C1-UC-1254001B
Item 18 - C2-UC-1254001A
Item 19 - C2-UC-1254001B
Item 20 - G-UC-1254001A
Item 21 - G-UC-1254001B
Item 22 - C-UC-1231001A
Item 23 - C-UC-1231001B
Item 24 - C-UC-1231001C
Item 25 - M-UC-1231001A
Item 26 - M-UC-1231001B
Item 27 - M-UC-1231001C
Item 28 - VV-UC-1231001A
Item 29 - VV-UC-1231001B
Item 30 - VV-UC-1231001C
Item 31 - B-5124001A
Item 32 - M-B-5124001A
Item 33 - B-5124001B
Item 34 - M-B-5124001B
Item 35 - B-5124001C
Item 36 - M-B-5124001C

Process finished with exit code 0
```

Figura 45 - Lista de itens gerada pelo algoritmo. Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÃO

O método proposto mostrou ter viabilidade de uso durante o desenvolvimento de engenharia de projetos industriais, com uma abordagem inovadora em relação aos aspectos de movimentação de cargas para manutenção. Ter um projeto de engenharia sendo desenvolvido através de BIM abre diversas oportunidades de fazer várias tarefas de forma automatizada e consequentemente surgem novas necessidade de cadastro de atributos no banco de dados para refinar essas avaliações. Normalmente os bancos de engenharia para projetos de FPSO trazem a massa total dos equipamentos com o objetivo de se fazer a verificação de centro de gravidade da embarcação. Com essa nova possibilidade de verificação de movimentação de carga para fase de manutenção, foi criado uma necessidade de descer mais um nível no detalhamento e precisamos agora da massa dos elementos que serão movimentados e não apenas a massa do conjunto inteiro. Um bom exemplo é para movimentação dos permutadores verificados na seção 4.1 que são do tipo casco e feixe fixo, ou seja, esses permutadores somente saem da plataforma se forem retirados inteiros. Porém se for um permutador em que seja possível sacar o feixe, não interessa mais estar cadastrado apenas a massa do permutador inteiro, haverá uma necessidade de cadastrar a massa do feixe e ela que deve ser considerado nas avaliações de movimentação de carga. Dessa forma, uma etapa a ser considerada para construção de automatismo dentro do projeto, é a análise das informações disponíveis no banco e o impacto que pode trazer para a equipe de projeto aumentar a quantidade de atributos. Os ganhos dessa automação têm que ser superiores ao esforço de cadastro desses novos requisitos no banco. Utilizar o painel para movimentação de carga pode trazer ganhos de qualidade na execução do projeto e vai contribuir para reduzir os riscos de alterações durante a fase de execução da construção e montagem além de aumentar a produtividade durante a fase operacional.

Criar o processo dessa metodologia usando um formato neutro do modelo 3D, como o IFC, faz todo sentido para termos uma aplicação que funcione em qualquer software proprietário. Porém é necessário verificar se existem classes de atributos disponíveis nesse formato neutro que viabilize a consulta das informações necessárias do método proposto nesse trabalho. Como foi visto na seção 1.3, estado da arte, cada vez mais estão aumentando as pesquisas relacionadas ao uso de BIM para as atividades de manutenção e atributos específicos para essa atividade serão cada mais necessários para termos bancos de dados integrados nas mais diversas fases do ciclo de vida de um ativo. Como proposta de trabalho futuro, verificar a necessidade de novas classes para o formato IFC com o intuito de viabilizar o cadastro de

informações relacionadas a manutenção pode contribuir para a melhoria contínua desse formato neutro que está sendo atualizado constantemente.

O uso do algoritmo de busca A* foi eficiente para verificar a existência de volumes de reserva de rotas de manutenção. Seu uso traz um grande potencial de melhoria de consistência dos projetos de engenharia visto que hoje em dia a verificação de rotas é realizada de forma manual. O uso desse algoritmo teve o intuito de verificar a viabilidade de uso do método proposto nesse trabalho, porém uma análise aprofundada para melhorar a performance computacional do uso desse algoritmo pode ser necessária quando o mesmo for utilizado para verificar todos os itens de uma FPSO.

A automação das verificações de movimentação de carga apresentadas nesse presente trabalho pode ser melhorada e como sugestão para os próximos trabalhos seria a verificação das rotas de manutenção diretamente no modelo 3D. O algoritmo de busca A* usa como referência de espaço uma matriz matemática que poderia ter várias camadas para representar um ambiente 3D ao invés do plano 2D realizado nesse trabalho. A análise no ambiente 3D vai aumentar as possibilidades de verificações de rotas pois será possível fazer verificações considerando elevações diferentes. A parte negativa é que haverá um custo computacional maior na verificação, visto que aumentará a quantidade de possibilidades de caminho para serem verificados pelo algoritmo. Essa verificação proposta nesse trabalho não verifica se as dimensões das rotas de movimentação estão compatíveis com as cargas previstas a serem movimentadas, e uma rota com restrição de tamanho que impeça a movimentação de uma carga pode continuar trazendo transtornos para a fase operacional. Também como sugestão para novas pesquisas seria verificar de forma automatizada se as dimensões das rotas de manutenção definidas pela engenharia estão adequadas de acordo com os itens que serão movimentados nesses percursos.

6 REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAÇADO, M. P. *A movimentação de cargas em plataformas offshore: Da operação à integração ao projeto.* Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

AFFONSO, I. D. et al. *Digital Transformation as a Tool for FPSO Project Acceleration.* In: OTC - OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE. Houston - EUA: 2020

ALMEIDA, E. DE et al. *Custos e Competividade da Atividade de E&P no Brasil. Ciclo de Debates sobre Petróleo e Economia - Cooperação e Pesquisa IBP -UFRJ*, p. 36, 2016.

ARNOLD, K. E.; KARSAN, D. I.; CHAKRABARTI, S. *Topsides Facilities Layout Development.* Oxford: Elsevier, 2005.

BALDWIN, M. *What is IFC (Industry Foundation Classes)?*, 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9YgXXbdohOQ&feature=emb_logo>. Acesso em: 29 out. 2020

BARBAROSOGLU, B. V.; ARDITI, D. *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering.* A System for Early Detection of Mainainability issues Using BIM, p. 335–341, 2019.

BERGIN, M. *History of BIM.* Disponível em: <pt.scribd.com/document/353593646/Michael-Bergin-History-of-Bim>. Acesso em: 20 set. 2020.

DIJKSTRA, E. W. *A Note on Two Problems in Connexion with Graphs.* Numerische Mathematik 1, p. 269–271, 1959.

EADIE, R. et al. *BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis*. Automation in Construction, v. 36, p. 145–151, 1 dez. 2013.

EASTMAN, C. *Computer-Aided Design. General purpose building description systems*, v. 8, n. 1, p. 17–26, 1976.

EASTMAN, C. et al. *BIM Handbook.* 2° Edição ed. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc., 2011.

EBPR. *Partilha de produção do pré-sal deve demandar 28 FPSOs em dez anos, calcula PPSA.* Disponível em: <https://epbr.com.br/contratos-de-partilha-de-producao-devem-demandar-28-fpsos-em-dez-anos-calcula-ppsa/>. Acesso em: 8 nov. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. *Fatos Relevantes da Indústria do Óleo e Gás*, n. 09, p. 11, abr. 2020.

Estaleiro Brasa. Disponível em: *<http://www.estaleiro-brasa.com.br/en_US/fpso-cidade-de-saquarema/>*. Acesso em: 8 nov. 2020.

GAO, X.; PISHDAD-BOZORGI, P. *BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review.* Advanced Engineering Informatics, v. 39, p. 227–247, jan. 2019.

GASPAR, J. A. DA M.; RUSCHEL, R. C. *A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo.* Blucher Design Proceedings. Anais... In: XXI CONGRESO INTERNACIONAL DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL. Concepción, Chile: Editora Blucher, nov. 2017. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/27662>. Acesso em: 20 set. 2020

GRANI, H. K. *What is IFC and what do you need to know about it?* - areo blog - Lifecycle BIM and smart FM, 15 jan. 2016. Disponível em: <https://blog.areo.io/what-is-ifc/>. Acesso em: 22 set. 2020

HART, P. E.; NILSSON, N. J.; RAPHAEL, B. *A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths.* IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, v. 4, n. 2, p. 100–107, jul. 1968.

HEINEMAN, G.; POLLICE, G.; SELKOW, S. *Algoritmos - O guia essencial.* [s.l.] Alta Books, 2009.

ILTER, D.; ERGEN, E. *BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions.* Structural Survey, v. 33, n. 3, p. 228–256, 13 jul. 2015.

Indexmundi - Pétroleo Bruto. Disponível em: *<https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=petr%c3%b3leo-bruto&meses=180*>. Acesso em: 1 out. 2020.

KELLY, A. *Strategic Maintenance Planning.* 1. ed. [s.l.] ELSEVIER, 2006.

LEE, C.-H.; TSAI, M.-H.; KANG, S.-C. *A visual tool for accessibility study of pipeline maintenance during design. Visualization in Engineering*, v. 2, n. 1, p. 6, 27 set. 2014.

LIU, R.; R.A. ISSA, R. *Design for maintenance accessibility using BIM tools.* Facilities, v. 32, n. 3/4, p. 153–159, 25 fev. 2014.

MIRANDA, R. S. DE. *Análise dinâmica de um guindaste offshore sobre pedestal.* [s.l.] UFRJ/COPPE, 2019.

MITTAL, A.; SLAUGHTER, A.; BANSAL, V. *From bytes to barrels - The digital transformation in upstream oil and gas.* Deloitte Insights, p. 28, 2017.

MOURA, R. A. *Sistemas e técnicas de movimentação e armazenagem de materiais.* 7a Edição ed. São Paulo: Instituto IMAM, 2010.

NEDERVEEN, G. A. VAN; TOLMAN, F. P. *Modelling multiple views on building.* Automation in Construction, v. 1, n. 1, p. 215–224, 1992.

RODRIGUES, G. M. *Identificação dos problemas de manutenção em plataformas offshore por meio de análise do trablaho do mantenedor*. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, ago. 2012.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Inteligência Artificial: tradução da Terceira Edição por Regina Célia Simille*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SHARPLES, C. *Unified Frontiers: Reaching Out with BIM.* Architectural Design, v. 79, n. 2, p. 42–47, 2009.

UKOOA. *UKOOA FPSO Design guidance notes for UKCS services*, mar. 2002.

VANLANDE, R.; NICOLLE, C.; CRUZ, C. *IFC and building lifecycle management.* Automation in Construction, v. 18, n. 1, p. 70–78, dez. 2008.

WHALEY, M.; LOWE, J. HOW TO AVOID GROUNDHOG DAY . . . AGAIN! *Journal of Green Building*, v. 9, n. 2, p. 38–50, 1 jul. 2014.

7 APÊNDICES

7.1 ALGORITMO EM PYTHON PARA VERIFICAÇÃO DAS ROTAS

```python
import sys
import random
import numpy as np
import pandas as pd     #biblioteca para trabalhar com planilhas de Excel
from PIL import Image   #biblioteca de manipulação de imagens

# algoritimo de busca A* encontrado em:
# https://stackoverflow.com/questions/50800904/automatically-generating-start-and-goal-positions-for-a-maze
def AStar(start, goal, neighbor_nodes, distance, cost_estimate):
    def reconstruct_path(came_from, current_node):
        path = []
        while current_node is not None:
            path.append(current_node)
            current_node = came_from[current_node]
        return list(reversed(path))

    g_score = {start: 0}
    f_score = {start: g_score[start] + cost_estimate(start, goal)}
    openset = {start}
    closedset = set()
    came_from = {start: None}

    while openset:
        current = min(openset, key=lambda x: f_score[x])
        if current == goal:
            return reconstruct_path(came_from, goal)
        openset.remove(current)
        closedset.add(current)
        for neighbor in neighbor_nodes(current):
            if neighbor in closedset:
                continue
            if neighbor not in openset:
                openset.add(neighbor)
            tentative_g_score = g_score[current] + distance(current, neighbor)
            if tentative_g_score >= g_score.get(neighbor, float('inf')):
                continue
            came_from[neighbor] = current
            g_score[neighbor] = tentative_g_score
            f_score[neighbor] = tentative_g_score + cost_estimate(neighbor, goal)
    return []

#definição dos pixels que são considerados barreiras
def is_blocked(p):
    x,y = p
    pixel = path_pixels[x,y]
    if any(c < 225 for c in pixel):
        return True

def von_neumann_neighbors(p):
    x, y = p
    neighbors = [(x-1, y), (x, y-1), (x+1, y), (x, y+1)]
    return [p for p in neighbors if not is_blocked(p)]
def manhattan(p1, p2):
    return abs(p1[0]-p2[0]) + abs(p1[1]-p2[1])
def squared_euclidean(p1, p2):
```

```
    return (p1[0]-p2[0])**2 + (p1[1]-p2[1])**2

# Carregando planilha com as coordenadas dos itens.
# Poderia ser uma consulta ao banco de dados BIM, a biblioteca Panda permite a busca.
xlsx=pd.ExcelFile('planilha_python.xlsx')
df=pd.read_excel(xlsx,'Planilha1')

#Criando lista para as Coordenadas em Pixel de x (Px)
a=0
Px=[]

while a < len(df.index.array):
    Px.append(df.loc[a,'Px'])
    a+=1

#Criando lista para as Coordenadas em Pixel de y (Py)
b=0
Py=[]

while b < len(df.index.array):
    Py.append(df.loc[b,'Py'])
    b+=1


# Coordenadas das áreas de Laydown da Plataforma do 1° piso
goal1 = (1872, 841)
goal2 = (346, 905)


# Geração de cor aleatoria em RGB, para colorir as rotas
rgb=[]
m=0
while m < len(df.index.array):
      rgb.append(tuple(np.random.randint(220, size=3)))
      m +=1
#Criação das rotas
c=0

#Lista dos itens que estão com ou sem rota definida.
#Essa informação poderia ser adicionada no banco de dados BIM
TAG_Sem=[]
TAG_Com=[]

while c < len(df.index.array):
    start = (int(Px[c]), int(Py[c]))
    d=0

    # Carrengando a imagem monocromatica das rotas usando a biblioteca PIL
    path_img = Image.open("rotas.jpg")
    path_pixels = path_img.load()

    distance = manhattan
    heuristic = manhattan
```

```
109
110     # Busca da rota para a área de laydown 1
111     path1 = AStar(start, goal1, von_neumann_neighbors, distance, heuristic)
112     # Busca da rota para a área de laydown 2
113     path2 = AStar(start, goal2, von_neumann_neighbors, distance, heuristic)
114
115
116     # Verificando qual "Laydown Area" é a mais proxima
117     if c == 0:
118
119         path_img = Image.open("planta_1stdeck.jpg") #Imagem da Planta do 1° piso
120
121         # se não houver rota para um determinadao item, será criado uma cruz vermelha na coordenada desse item.
122         if len(path1) == 0 and len(path2) == 0:
123
124             path_img.putpixel((int(Px[c]), int(Py[c])), (255, 0, 0))
125
126             while d <= 6:
127                 path_img.putpixel((int(Px[c] + d), int(Py[c])), (255, 0, 0))
128                 path_img.putpixel((int(Px[c] - d), int(Py[c])), (255, 0, 0))
129                 path_img.putpixel((int(Px[c]), int(Py[c] + d)), (255, 0, 0))
130                 path_img.putpixel((int(Px[c]), int(Py[c]) - d), (255, 0, 0))
131
132                 d += 1
133
134             TAG_Sem.append("Item "+str(df.loc[c,'ITEM'])+" - "+str(df.loc[c,'TAG']))
135             path_img.save("planta_rotas.png")
136
137
138         else:
139
140             path_pixels = path_img.load()
141             # Se a área de laydown2 for mais proxima que a laydown1
142             if len(path1) > len(path2):
143
144                 for position in path2:
145                     x,y = position
146                     path_pixels[x,y] = rgb[c]
147                     path_pixels[x, y+1] = rgb[c]
148                     path_pixels[x+1, y] = rgb[c]
149
150             else:# Se a área de laydown1 for mais proxima que a laydown2
151
152                 for position in path1:
153                     x,y = position
154                     path_pixels[x,y] = rgb[c] # red
155                     path_pixels[x, y + 1] = rgb[c]  # red
156                     path_pixels[x + 1, y] = rgb[c]  # red
157
158             # Salvando rota mais curta com o nome do TAG
159             TAG_Com.append("Item "+str(df.loc[c,'ITEM'])+" - "+str(df.loc[c,'TAG']))
160             path_img.save("planta_rotas.png") #Salvando imagem da planta com a rota
161
162
```

```
    else:

        path_img = Image.open("planta_rotas.png")
        # Se não for encontrada alguma rota plotar cruz vermelha na coordenada do item
        if len(path1) == 0 and len(path2) == 0:

            path_img.putpixel((int(Px[c]), int(Py[c])), (255, 0, 0))

            # se não houver rota para um determinadao item, será criado uma cruz vermelha na coordenada desse item.
            while d <= 6:

                path_img.putpixel((int(Px[c]+d), int(Py[c])), (255, 0, 0))
                path_img.putpixel((int(Px[c]-d), int(Py[c])), (255, 0, 0))
                path_img.putpixel((int(Px[c]), int(Py[c]+d)), (255, 0, 0))
                path_img.putpixel((int(Px[c]), int(Py[c])-d), (255, 0, 0))

                d +=1

            TAG_Sem.append("Item "+str(df.loc[c,'ITEM'])+" - "+str(df.loc[c,'TAG']))
            path_img.save("planta_rotas.png") #Salvando imagem da planta com a rota

        else:

            path_pixels = path_img.load()
            # Se a área de laydown2 for mais proxima que a laydown1
            if len(path1) > len(path2):

                for position in path2:
                    x,y = position
                    path_pixels[x,y] = rgb[c]
                    path_pixels[x, y + 1] = rgb[c]
                    path_pixels[x + 1, y] = rgb[c]

            else: # Se a área de laydown1 for mais proxima que a laydown2


                for position in path1:
                    x,y = position
                    path_pixels[x,y] = rgb[c]
                    path_pixels[x, y + 1] = rgb[c]
                    path_pixels[x + 1, y] = rgb[c]

            TAG_Com.append("Item "+str(df.loc[c,'ITEM'])+" - "+str(df.loc[c,'TAG']))
            path_img.save("planta_rotas.png") #Salvando imagem da planta com a rota

    c += 1


print("Itens que estão sem rota:\n\n")
print(*TAG_Sem, sep="\n")
print("\n\n")
print("Itens que estão com rota:\n\n")
print(*TAG_Com, sep="\n")
```

7.2 CÓDIGO-FONTE IFC PARA ROTA DE MANUTENÇÃO DA SEÇÃO

```
ISO-10303-21;
HEADER;
/* NOTE a valid model view name has to be asserted, replacing 'notYetAssigned' ----------------- */
FILE_DESCRIPTION( ( 'ViewDefinition [notYetAssigned]' ,'Comment [manual creation of example file]' ) ,'2;1');
/* NOTE standard header information according to ISO 10303-21 ---------------------------------- */
FILE_NAME( 'IfcBuildingElementProxy_Tessellation.ifc', '2012-07-04T18:00:00', ('Thomas Liebich'),
('buildingSMART International'), 'IFC text editor', 'IFC text editor', 'reference file created for the IFC4 specification');
/* NOTE schema name to be replaced with 'IFC4' after the final release ------------------------ */
FILE_SCHEMA(('IFC4'));
ENDSEC;

DATA;
/* ------------------------------------------------------------------------------------------- */
/* general entities required for all IFC data sets, defining the context for the exchange ------ */
#100= IFCPROJECT ('0xScRe4drECQ4DMSqUjd6d',#110,'proxy with tessellation',$,$,$,$,(#201),#301);

/* single owner history sufficient if not otherwise required by the view definition ------------ */
/* provides the person and application creating the data set, and the time it is created ------- */
#110= IFCOWNERHISTORY (#111,#115,$,.ADDED.,1320688800,$,$,1320688800);
#111= IFCPERSONANDORGANIZATION (#112,#113,$);
#112= IFCPERSON ($,'Liebich','Thomas',$,$,$,$,$);
#113= IFCORGANIZATION ($,'buildingSMART International',$,$,$);
#115= IFCAPPLICATION (#113,'1.0','IFC text editor','ifcTE');

/* each IFC data set containing geometry has to define a geometric representation context ------ */
/* the attribute 'ContextType' has to be 'Model' for 3D model geometry ------------------------- */
#201= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT ($,'Model',3,1.0E-5,#210,$);
/* the attribute 'ContextIdentifier' has to be 'Body' for the main 3D shape representation ----- */
#202= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONSUBCONTEXT ('Body','Model',*,*,*,*,#201,$,.MODEL_VIEW.,$);
#210= IFCAXIS2PLACEMENT3D (#901,$,$);

/* each IFC data set containing geometry has to define at absolute minimum length and angle ---- */
/* here length is milli metre as SI unit, and plane angle is 'degree' as non SI unit ----------- */
#301= IFCUNITASSIGNMENT ((#311,#312));
#311= IFCSIUNIT (*,.LENGTHUNIT.,.MILLI.,.METRE.);
#312= IFCCONVERSIONBASEDUNIT (#313,.PLANEANGLEUNIT.,'degree',#314);
#313= IFCDIMENSIONALEXPONENTS (0,0,0,0,0,0,0);
#314= IFCMEASUREWITHUNIT (IFCPLANEANGLEMEASURE(0.017453293),#315);
#315= IFCSIUNIT (*,.PLANEANGLEUNIT.,$,.RADIAN.);

/* each IFC data set containing elements in a building context has to include a building ------- */
/* at absolute minimum (could have a site and stories as well) --------------------------------- */
#500= IFCBUILDING ('2FCZDorxHDT8NI01kdXi8P',$,'Test Building',$,$,#511,$,$,.ELEMENT.,$,$,$);
/* if the building is the uppermost spatial structure element it defines the absolut position -- */
#511= IFCLOCALPLACEMENT ($,#512);
/* no rotation - z and x axes set to '$' are therefore identical to "world coordinate system" -- */
#512= IFCAXIS2PLACEMENT3D (#901,$,$);
/* if the building is the uppermost spatial structure element it is assigned to the project ---- */
#519= IFCRELAGGREGATES ('2YBqaV_8L15eWJ9DA1sGmT',$,$,$,#100,(#500));

/* shared coordinates - it is permissable to share common instances to reduce file size -------- */
#901= IFCCARTESIANPOINT ((0.,0.,0.));
#902= IFCDIRECTION ((1.,0.,0.));
#903= IFCDIRECTION ((0.,1.,0.));
#904= IFCDIRECTION ((0.,0.,1.));
#905= IFCDIRECTION ((-1.,0.,0.));
#906= IFCDIRECTION ((0.,-1.,0.));
#907= IFCDIRECTION ((0.,0.,-1.));
```

```
/* ------------------------------------------------------------------------------------------- */
/* proxy element with tessellated shape representation, assigned to the building ------------- */
#1000= IFCBUILDINGELEMENTPROXY ('1kTvXnbbzCWw8lcMd1dR4o',$,'P-1','sample proxy',$,#1001,#1010,$,$);
/* proxy element placement relative to the building ------------------------------------------- */
#1001= IFCLOCALPLACEMENT (#511,#1002);
/* set local placement to 1 meter on x-axis, and 0 on y, and 0 on z axes ---------------------- */
/* no rotation - z and x axes set to '$' are therefore identical to those of building ---------- */
#1002= IFCAXIS2PLACEMENT3D (#1003,$,$);
#1003= IFCCARTESIANPOINT ((1000.,0.,0.));
/* proxy element shape representation --------------------------------------------------------- */
#1010= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE ($,$,(#1040,#1050,#1060,#1070,#1080,#1090,#3000,#3010,#3020,#3030));
/* a single shape representation of type 'Tessellation' is included --------------------------- */
#1040= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1041));
/* faceted boundary representation ------------------------------------------------------------ */
#1041= IFCFACETEDBREP (#1042);
#1042= IFCCLOSEDSHELL ((#1110, #1120, #1130, #1140, #1150, #1160));
#1110= IFCFACE((#1111));
#1111= IFCFACEOUTERBOUND(#1112,.T.);
#1112= IFCPOLYLOOP((#1201,#1202,#1206,#1205));
#1120= IFCFACE((#1121));
#1121= IFCFACEOUTERBOUND(#1122,.T.);
#1122= IFCPOLYLOOP((#1206,#1202,#1203,#1207));
#1130= IFCFACE((#1131));
#1131= IFCFACEOUTERBOUND(#1132,.T.);
#1132= IFCPOLYLOOP((#1207,#1203,#1204,#1208));
#1140= IFCFACE((#1141));
#1141= IFCFACEOUTERBOUND(#1142,.T.);
#1142= IFCPOLYLOOP((#1208,#1204,#1201,#1205));
#1150= IFCFACE((#1151));
#1151= IFCFACEOUTERBOUND(#1152,.T.);
#1152= IFCPOLYLOOP((#1201,#1204,#1203,#1202));
#1160= IFCFACE((#1161));
#1161= IFCFACEOUTERBOUND(#1162,.T.);
#1162= IFCPOLYLOOP((#1206,#1207,#1208,#1205));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------- */
#1201= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#1202= IFCCARTESIANPOINT((2866.,0.,0.));
#1203= IFCCARTESIANPOINT((2866.,16766.,0.));
#1204= IFCCARTESIANPOINT((0.,16766.,0.));
#1205= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,3800.));
#1206= IFCCARTESIANPOINT((2866.,0.,3800.));
#1207= IFCCARTESIANPOINT((2866.,16766.,3800.));
#1208= IFCCARTESIANPOINT((0.,16766.,3800.));

#1050= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1051));
/* faceted boundary representation ------------------------------------------------------------ */
/* cube, 1m width, 1m depth, 2m height -------------------------------------------------------- */
#1051= IFCFACETEDBREP (#1052);
#1052= IFCCLOSEDSHELL ((#1310, #1320, #1330, #1340, #1350, #1360));
#1310= IFCFACE((#1311));
#1311= IFCFACEOUTERBOUND(#1312,.T.);
#1312= IFCPOLYLOOP((#1301,#1302,#1306,#1305));
#1320= IFCFACE((#1321));
#1321= IFCFACEOUTERBOUND(#1322,.T.);
#1322= IFCPOLYLOOP((#1306,#1302,#1303,#1307));
#1330= IFCFACE((#1331));
#1331= IFCFACEOUTERBOUND(#1332,.T.);
#1332= IFCPOLYLOOP((#1307,#1303,#1304,#1308));
#1340= IFCFACE((#1341));
#1341= IFCFACEOUTERBOUND(#1342,.T.);
#1342= IFCPOLYLOOP((#1308,#1304,#1301,#1305));
#1350= IFCFACE((#1351));
#1351= IFCFACEOUTERBOUND(#1352,.T.);
```

```
#1352= IFCPOLYLOOP((#1301,#1304,#1303,#1302));
#1360= IFCFACE((#1361));
#1361= IFCFACEOUTERBOUND(#1362,.T.);
#1362= IFCPOLYLOOP((#1306,#1307,#1308,#1305));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1301= IFCCARTESIANPOINT((2866.,5680.,2370.));
#1302= IFCCARTESIANPOINT((8370.,5680.,2370.));
#1303= IFCCARTESIANPOINT((8370.,7909.,2370.));
#1304= IFCCARTESIANPOINT((2866.,7909.,2370.));
#1305= IFCCARTESIANPOINT((2866.,5680.,3920.));
#1306= IFCCARTESIANPOINT((8370.,5680.,3920.));
#1307= IFCCARTESIANPOINT((8370.,7909.,3920.));
#1308= IFCCARTESIANPOINT((2866.,7909.,3920.));

#1060= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1061));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#1061= IFCFACETEDBREP (#1062);
#1062= IFCCLOSEDSHELL ((#1410, #1420, #1430, #1440, #1450, #1460));
#1410= IFCFACE((#1411));
#1411= IFCFACEOUTERBOUND(#1412,.T.);
#1412= IFCPOLYLOOP((#1401,#1402,#1406,#1405));
#1420= IFCFACE((#1421));
#1421= IFCFACEOUTERBOUND(#1422,.T.);
#1422= IFCPOLYLOOP((#1406,#1402,#1403,#1407));
#1430= IFCFACE((#1431));
#1431= IFCFACEOUTERBOUND(#1432,.T.);
#1432= IFCPOLYLOOP((#1407,#1403,#1404,#1408));
#1440= IFCFACE((#1441));
#1441= IFCFACEOUTERBOUND(#1442,.T.);
#1442= IFCPOLYLOOP((#1408,#1404,#1401,#1405));
#1450= IFCFACE((#1451));
#1451= IFCFACEOUTERBOUND(#1452,.T.);
#1452= IFCPOLYLOOP((#1401,#1404,#1403,#1402));
#1460= IFCFACE((#1461));
#1461= IFCFACEOUTERBOUND(#1462,.T.);
#1462= IFCPOLYLOOP((#1406,#1407,#1408,#1405));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1401= IFCCARTESIANPOINT((2866.,13199,2370.));
#1402= IFCCARTESIANPOINT((8370.,13199.,2370.));
#1403= IFCCARTESIANPOINT((8370.,15174.,2370.));
#1404= IFCCARTESIANPOINT((2866.,15174.,2370.));
#1405= IFCCARTESIANPOINT((2866.,13199,3920.));
#1406= IFCCARTESIANPOINT((8370.,13199.,3920.));
#1407= IFCCARTESIANPOINT((8370.,15174.,3920.));
#1408= IFCCARTESIANPOINT((2866.,15174.,3920.));

#1070= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1071));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#1071= IFCFACETEDBREP (#1072);
#1072= IFCCLOSEDSHELL ((#1510, #1520, #1530, #1540, #1550, #1560));
#1510= IFCFACE((#1511));
#1511= IFCFACEOUTERBOUND(#1512,.T.);
#1512= IFCPOLYLOOP((#1501,#1502,#1506,#1505));
#1520= IFCFACE((#1521));
#1521= IFCFACEOUTERBOUND(#1522,.T.);
#1522= IFCPOLYLOOP((#1506,#1502,#1503,#1507));
#1530= IFCFACE((#1531));
#1531= IFCFACEOUTERBOUND(#1532,.T.);
#1532= IFCPOLYLOOP((#1507,#1503,#1504,#1508));
#1540= IFCFACE((#1541));
#1541= IFCFACEOUTERBOUND(#1542,.T.);
#1542= IFCPOLYLOOP((#1508,#1504,#1501,#1505));
```

```
#1550= IFCFACE((#1551));
#1551= IFCFACEOUTERBOUND(#1552,.T.);
#1552= IFCPOLYLOOP((#1501,#1504,#1503,#1502));
#1560= IFCFACE((#1561));
#1561= IFCFACEOUTERBOUND(#1562,.T.);
#1562= IFCPOLYLOOP((#1506,#1507,#1508,#1505));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1501= IFCCARTESIANPOINT((8890.,4965.,2292.));
#1502= IFCCARTESIANPOINT((12390.,4965.,2292.));
#1503= IFCCARTESIANPOINT((12390,15731.,2292.));
#1504= IFCCARTESIANPOINT((8890.,15731.,2292.));
#1505= IFCCARTESIANPOINT((8890.,4965.,7938.));
#1506= IFCCARTESIANPOINT((12390.,4965.,7938.));
#1507= IFCCARTESIANPOINT((12390,15731.,7938.));
#1508= IFCCARTESIANPOINT((8890.,15731.,7938.));



#1080= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1081));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#1081= IFCFACETEDBREP (#1082);
#1082= IFCCLOSEDSHELL ((#1610, #1620, #1630, #1640, #1650, #1660));
#1610= IFCFACE((#1611));
#1611= IFCFACEOUTERBOUND(#1612,.T.);
#1612= IFCPOLYLOOP((#1601,#1602,#1606,#1605));
#1620= IFCFACE((#1621));
#1621= IFCFACEOUTERBOUND(#1622,.T.);
#1622= IFCPOLYLOOP((#1606,#1602,#1603,#1607));
#1630= IFCFACE((#1631));
#1631= IFCFACEOUTERBOUND(#1632,.T.);
#1632= IFCPOLYLOOP((#1607,#1603,#1604,#1608));
#1640= IFCFACE((#1641));
#1641= IFCFACEOUTERBOUND(#1642,.T.);
#1642= IFCPOLYLOOP((#1608,#1604,#1601,#1605));
#1650= IFCFACE((#1651));
#1651= IFCFACEOUTERBOUND(#1652,.T.);
#1652= IFCPOLYLOOP((#1601,#1604,#1603,#1602));
#1660= IFCFACE((#1661));
#1661= IFCFACEOUTERBOUND(#1662,.T.);
#1662= IFCPOLYLOOP((#1606,#1607,#1608,#1605));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1601= IFCCARTESIANPOINT((9100.,8963.,2343.));
#1602= IFCCARTESIANPOINT((19768.,8963.,2343.));
#1603= IFCCARTESIANPOINT((19768,12040.,2343.));
#1604= IFCCARTESIANPOINT((9100.,12040.,2343.));
#1605= IFCCARTESIANPOINT((9100.,8963.,5240.));
#1606= IFCCARTESIANPOINT((19768.,8963.,5240.));
#1607= IFCCARTESIANPOINT((19768,12040.,5240.));
#1608= IFCCARTESIANPOINT((9100.,12040.,5240.));


#1090= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#1091));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#1091= IFCFACETEDBREP (#1092);
#1092= IFCCLOSEDSHELL ((#1710, #1720, #1730, #1740, #1750, #1760));
#1710= IFCFACE((#1711));
#1711= IFCFACEOUTERBOUND(#1712,.T.);
#1712= IFCPOLYLOOP((#1701,#1702,#1706,#1705));
#1720= IFCFACE((#1721));
#1721= IFCFACEOUTERBOUND(#1722,.T.);
#1722= IFCPOLYLOOP((#1706,#1702,#1703,#1707));
#1730= IFCFACE((#1731));
```

```
#1731= IFCFACEOUTERBOUND(#1732,.T.);
#1732= IFCPOLYLOOP((#1707,#1703,#1704,#1708));
#1740= IFCFACE((#1741));
#1741= IFCFACEOUTERBOUND(#1742,.T.);
#1742= IFCPOLYLOOP((#1708,#1704,#1701,#1705));
#1750= IFCFACE((#1751));
#1751= IFCFACEOUTERBOUND(#1752,.T.);
#1752= IFCPOLYLOOP((#1701,#1704,#1703,#1702));
#1760= IFCFACE((#1761));
#1761= IFCFACEOUTERBOUND(#1762,.T.);
#1762= IFCPOLYLOOP((#1706,#1707,#1708,#1705));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1701= IFCCARTESIANPOINT((13163.,5896.,5150.));
#1702= IFCCARTESIANPOINT((19768.,5896.,5150.));
#1703= IFCCARTESIANPOINT((19768.,8016.,5150.));
#1704= IFCCARTESIANPOINT((13163.,8016.,5150.));
#1705= IFCCARTESIANPOINT((13163.,5896.,6960.));
#1706= IFCCARTESIANPOINT((19768.,5896.,6960.));
#1707= IFCCARTESIANPOINT((19768.,8016.,6960.));
#1708= IFCCARTESIANPOINT((13163.,8016.,6960.));




#3000= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#3001));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#3001= IFCFACETEDBREP (#3002);
#3002= IFCCLOSEDSHELL ((#1810, #1820, #1830, #1840, #1850, #1860));
#1810= IFCFACE((#1811));
#1811= IFCFACEOUTERBOUND(#1812,.T.);
#1812= IFCPOLYLOOP((#1801,#1802,#1806,#1805));
#1820= IFCFACE((#1821));
#1821= IFCFACEOUTERBOUND(#1822,.T.);
#1822= IFCPOLYLOOP((#1806,#1802,#1803,#1807));
#1830= IFCFACE((#1831));
#1831= IFCFACEOUTERBOUND(#1832,.T.);
#1832= IFCPOLYLOOP((#1807,#1803,#1804,#1808));
#1840= IFCFACE((#1841));
#1841= IFCFACEOUTERBOUND(#1842,.T.);
#1842= IFCPOLYLOOP((#1808,#1804,#1801,#1805));
#1850= IFCFACE((#1851));
#1851= IFCFACEOUTERBOUND(#1852,.T.);
#1852= IFCPOLYLOOP((#1801,#1804,#1803,#1802));
#1860= IFCFACE((#1861));
#1861= IFCFACEOUTERBOUND(#1862,.T.);
#1862= IFCPOLYLOOP((#1806,#1807,#1808,#1805));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1801= IFCCARTESIANPOINT((13163.,13146.,5150.));
#1802= IFCCARTESIANPOINT((19768.,13146.,5150.));
#1803= IFCCARTESIANPOINT((19768.,15266.,5150.));
#1804= IFCCARTESIANPOINT((13163.,15266.,5150.));
#1805= IFCCARTESIANPOINT((13163.,13146.,6960.));
#1806= IFCCARTESIANPOINT((19768.,13146.,6960.));
#1807= IFCCARTESIANPOINT((19768.,15266.,6960.));
#1808= IFCCARTESIANPOINT((13163.,15266.,6960.));


#3010= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#3011));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#3011= IFCFACETEDBREP (#3012);
#3012= IFCCLOSEDSHELL ((#1910, #1920, #1930, #1940, #1950, #1960));
#1910= IFCFACE((#1911));
#1911= IFCFACEOUTERBOUND(#1912,.T.);
```

```
#1912= IFCPOLYLOOP((#1901,#1902,#1906,#1905));
#1920= IFCFACE((#1921));
#1921= IFCFACEOUTERBOUND(#1922,.T.);
#1922= IFCPOLYLOOP((#1906,#1902,#1903,#1907));
#1930= IFCFACE((#1931));
#1931= IFCFACEOUTERBOUND(#1932,.T.);
#1932= IFCPOLYLOOP((#1907,#1903,#1904,#1908));
#1940= IFCFACE((#1941));
#1941= IFCFACEOUTERBOUND(#1942,.T.);
#1942= IFCPOLYLOOP((#1908,#1904,#1901,#1905));
#1950= IFCFACE((#1951));
#1951= IFCFACEOUTERBOUND(#1952,.T.);
#1952= IFCPOLYLOOP((#1901,#1904,#1903,#1902));
#1960= IFCFACE((#1961));
#1961= IFCFACEOUTERBOUND(#1962,.T.);
#1962= IFCPOLYLOOP((#1906,#1907,#1908,#1905));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#1901= IFCCARTESIANPOINT((17710.,5896,1210.));
#1902= IFCCARTESIANPOINT((19768.,5896.,1210.));
#1903= IFCCARTESIANPOINT((19768.,8016.,1210.));
#1904= IFCCARTESIANPOINT((17710.,8016.,1210.));
#1905= IFCCARTESIANPOINT((17710.,5896.,5150.));
#1906= IFCCARTESIANPOINT((19768.,5896.,5150.));
#1907= IFCCARTESIANPOINT((19768.,8016.,5150.));
#1908= IFCCARTESIANPOINT((17710.,8016.,5150.));


#3020= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#3021));
/* faceted boundary representation ----------------------------------------------------------- */
#3021= IFCFACETEDBREP (#3022);
#3022= IFCCLOSEDSHELL ((#2010, #2020, #2030, #2040, #2050, #2060));
#2010= IFCFACE((#2011));
#2011= IFCFACEOUTERBOUND(#2012,.T.);
#2012= IFCPOLYLOOP((#2001,#2002,#2006,#2005));
#2020= IFCFACE((#2021));
#2021= IFCFACEOUTERBOUND(#2022,.T.);
#2022= IFCPOLYLOOP((#2006,#2002,#2003,#2007));
#2030= IFCFACE((#2031));
#2031= IFCFACEOUTERBOUND(#2032,.T.);
#2032= IFCPOLYLOOP((#2007,#2003,#2004,#2008));
#2040= IFCFACE((#2041));
#2041= IFCFACEOUTERBOUND(#2042,.T.);
#2042= IFCPOLYLOOP((#2008,#2004,#2001,#2005));
#2050= IFCFACE((#2051));
#2051= IFCFACEOUTERBOUND(#2052,.T.);
#2052= IFCPOLYLOOP((#2001,#2004,#2003,#2002));
#2060= IFCFACE((#2061));
#2061= IFCFACEOUTERBOUND(#2062,.T.);
#2062= IFCPOLYLOOP((#2006,#2007,#2008,#2005));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------ */
#2001= IFCCARTESIANPOINT((17710.,13146.,1210.));
#2002= IFCCARTESIANPOINT((19768.,13146.,1210.));
#2003= IFCCARTESIANPOINT((19768.,15266.,1210.));
#2004= IFCCARTESIANPOINT((17710.,15266.,1210.));
#2005= IFCCARTESIANPOINT((17710.,13146.,5150.));
#2006= IFCCARTESIANPOINT((19768.,13146.,5150.));
#2007= IFCCARTESIANPOINT((19768.,15266.,5150.));
#2008= IFCCARTESIANPOINT((17710.,15266.,5150.));
```

```
#3030= IFCSHAPEREPRESENTATION(#202,'Body','Brep',(#3031));
/* faceted boundary representation ------------------------------------------------------------ */
#3031= IFCFACETEDBREP (#3032);
#3032= IFCCLOSEDSHELL ((#2110, #2120, #2130, #2140, #2150, #2160));
#2110= IFCFACE((#2111));
#2111= IFCFACEOUTERBOUND(#2112,.T.);
#2112= IFCPOLYLOOP((#2101,#2102,#2106,#2105));
#2120= IFCFACE((#2121));
#2121= IFCFACEOUTERBOUND(#2122,.T.);
#2122= IFCPOLYLOOP((#2106,#2102,#2103,#2107));
#2130= IFCFACE((#2131));
#2131= IFCFACEOUTERBOUND(#2132,.T.);
#2132= IFCPOLYLOOP((#2107,#2103,#2104,#2108));
#2140= IFCFACE((#2141));
#2141= IFCFACEOUTERBOUND(#2142,.T.);
#2142= IFCPOLYLOOP((#2108,#2104,#2101,#2105));
#2150= IFCFACE((#2151));
#2151= IFCFACEOUTERBOUND(#2152,.T.);
#2152= IFCPOLYLOOP((#2101,#2104,#2103,#2102));
#2160= IFCFACE((#2161));
#2161= IFCFACEOUTERBOUND(#2162,.T.);
#2162= IFCPOLYLOOP((#2106,#2107,#2108,#2105));
/* shared vertices of the faceted boundary representation ------------------------------------- */
#2101= IFCCARTESIANPOINT((19768.,-1079.,217.));
#2102= IFCCARTESIANPOINT((22634.,-1079.,217.));
#2103= IFCCARTESIANPOINT((22634.,28691.,217.));
#2104= IFCCARTESIANPOINT((19768.,28691.,217.));
#2105= IFCCARTESIANPOINT((19768.,-1079.,5197.));
#2106= IFCCARTESIANPOINT((22634.,-1079.,5197.));
#2107= IFCCARTESIANPOINT((22634.,28691.,5197.));
#2108= IFCCARTESIANPOINT((19768.,28691.,5197.));



/* proxy element assigned to the building ----------------------------------------------------- */
#10000= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE ('2TnxZkTXT08eDuMuhUUFNy',$,'Physical model',$,(#1000),#500);

ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```