

PROJETO DE EXECUÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS MARPOL

Pedro Serra ⁽¹⁾, Alexandre Tomé ⁽¹⁾, António Amador ⁽¹⁾

(1) COBA Consultores de Engenharia e Ambiente S.A., Lisboa

Resumo

No presente artigo apresentam-se as principais vantagens e desafios da aplicação do conceito BIM no Projeto de uma estação de tratamento de resíduos gerados a bordo de navios (resíduos MARPOL - *Marine Pollution*). A instalação localizada no porto de Freeport, na ilha de Grand Bahama, tem uma capacidade de tancagem de 6 250 m³ e permite rececionar 5 000 m³ numa única operação de descarga. A instalação permite também rececionar os resíduos transportados em cisterna ou carro hidroaspirador.

A prestação de serviços compreendeu o desenvolvimento do Projeto Base e o detalhamento ao nível de Projeto de Execução do *Piping* dos diversos circuitos, Estruturas, Sistema de Proteção contra Incêndio, Abastecimento de Água, Drenagem, Instalações Elétricas e Automação. Os principais desafios consistiram na otimização do *layout* da instalação através de uma organização lógica e funcional dos equipamentos, que cumprisse os regulamentos locais, mantendo as condições adequadas para as operações diárias da instalação.

A abordagem digital integrada permitiu: obter um design final livre de conflitos; verificar os requisitos técnicos e funcionais da instalação; obter modelos analíticos para dimensionamento das condutas; e documentar grande parte do projeto. Através da utilização da metodologia BIM foi possível assegurar uma resposta eficaz às necessidades do projeto, as quais dificilmente seriam supridas utilizando uma abordagem tradicional de trabalho.

1. Introdução

A COBA, pelas diferentes áreas de atividade e o elevado número de valências que agrega, apresenta um interesse particular relativamente às metodologias BIM, sobretudo no que respeita à gestão centralizada da informação do projeto. Depois de vários testes em projetos piloto e de desenvolvimento das capacidades internas da empresa, existe hoje alguma maturidade na aplicação da metodologia BIM, o que permite o desenvolvimento de projetos cada vez mais exigentes e complexos. No projeto de execução da estação de tratamento de resíduos MARPOL foram ultrapassados diversos desafios devidos a várias condicionantes técnicas relacionadas com a restrição do espaço, maximização da capacidade produtiva da instalação, necessidade de flexibilidade nos circuitos hidráulicos, salvaguarda de espaços para a operação e manutenção dos equipamentos, a articulação com entidades externas e aspetos de segurança da operação e manutenção da instalação.

Com este projeto foi possível, não só, responder adequadamente aos requisitos do cliente para a instalação, mas também aumentar a capacidade BIM da empresa, com recurso a novas tecnologias e processos, aumentando o número de usos BIM para os modelos.

2. Descrição do Projeto

O Projeto consiste numa instalação de tratamento de resíduos MARPOL (*Marine Pollution*), para a qual foi desenvolvida uma solução concetual de *layout* - baseada num estudo de alternativas - seguido do detalhamento ao nível de Projeto de Execução. A instalação localiza-se no Porto de Freeport, na ilha de Grand Bahama, e tem capacidade para receber 174 000 m³/ano de resíduos, tanto por via marítima como terrestre, e produzir 26 000 m³ de óleo/fuel tratado por ano.

O *layout* da instalação encontra-se dividido em 4 zonas distintas apresentadas na Figura 1:

- Uma zona de receção de águas oleosas por via marítima com sistema de recolha e transferência dos resíduos para a instalação – o pipeline easement;
- Uma zona de armazenamento composta por 12 tanques com uma capacidade total de 150 000 m³;
- A zona da ETAR e da refinaria, composta por duas estruturas metálicas onde se localizam os equipamentos da instalação e 6 tanques de tratamento / processo;
- Um edifício de comando para apoio e controlo da instalação, uma caldeira de alimentação de fluído térmico à instalação, e uma zona de receção de autotanques para recolha de resíduos por via terrestre.

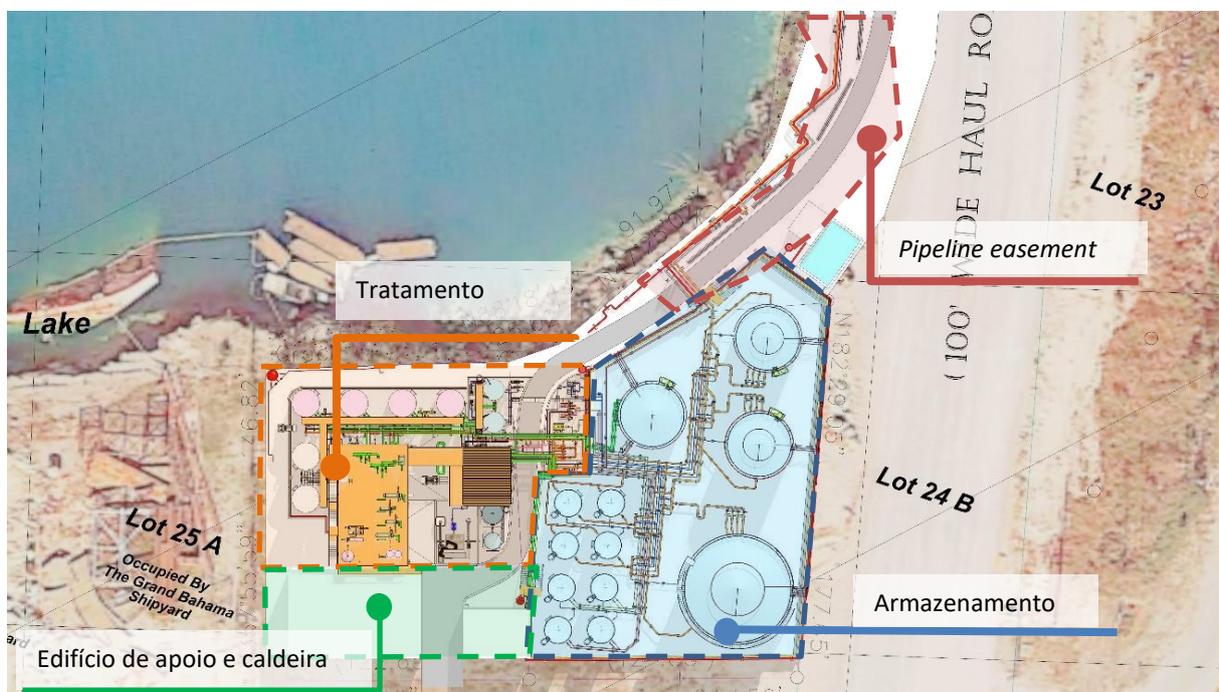


Figura 1: Localização da instalação e divisão por áreas.

Os resíduos são inicialmente sujeitos a um processo de tamisação, para separação dos sólidos grosseiros, as lamas são desidratadas em equipamentos centrífugos, a fração líquida é submetida a um processo de separação de fases, para recuperação dos hidrocarbonetos; a fração aquosa é submetida a um processo de tratamento físico-químico e depois de totalmente descontaminada é descarregada em segurança. A instalação dispõe ainda de um processo de recuperação das frações oleosas para produção de combustível. Para o projeto foram desenvolvidas as especialidades de Equipamentos e Tubagens, Estruturas, Proteção contra Incêndio, Abastecimento de Água, Drenagens, Eletricidade (alimentação, iluminação, e desenvolvimento da narrativa de controlo e automação) e ainda um estudo HAZOP (*Hazard and Operability*).

Um dos requisitos iniciais do cliente foi a elaboração do projeto num ambiente tridimensional. Este requisito pretendia minimizar os riscos de projeto devidos à complexidade da instalação que previa uma capacidade de tratamento muito elevada para a área de implantação disponível. De forma a rentabilizar o esforço de modelação no desenvolvimento do projeto em 3D, decidiu-se internamente, adotar uma abordagem BIM que permitisse utilizar os modelos não só para coordenação geométrica, mas também para documentar o projeto nas suas peças desenhadas e nas listas de quantidades – dois usos BIM que são recorrentemente utilizados na empresa e que não colocariam desafios extraordinários à modelação 3D. Devido ao elevado número de tubagens previstas para a instalação, decidiu-se ainda utilizar o ambiente BIM para realizar o estudo de flexibilidade e integridade das tubagens e dos seus apoios. Este novo uso BIM nunca tinha sido ensaiado na empresa, prevendo-se por isso elevados desafios à equipa de projeto que, por um lado iria ter de realizar um trabalho na vertente de investigação do processo e ferramentas, e por outro, teria de apresentar resultados concretos sem comprometer os prazos do projeto.

3. Metodologia BIM

A abordagem BIM ao projeto iniciou-se com a definição das especialidades a modelar e os respetivos objetivos de modelação. Ficou definido que seriam modeladas as especialidades de Estruturas, Equipamentos e Tubagens. Esta seleção foi feita considerando o seu impacto no projeto da instalação, e a experiência de modelação da equipa de trabalho. Ficou de fora da modelação a especialidade de Eletricidade.

Decidiu-se também que, para todas as especialidades, os modelos seriam desenvolvidos com o objetivo de compatibilizar as geometrias e documentar o projeto em peças desenhadas e listas de quantidades de trabalho. Adicionalmente, dada a elevada densidade e complexidade de circuitos hidráulicos, decidiu-se utilizar o modelo BIM para o cálculo e análise do projeto de tubagens. O carácter evolutivo do projeto traduziu-se na progressão do grau de detalhe dos objetos BIM utilizados. Foi recorrente durante o trabalho, a coexistência de objetos desde LOD100 até ao LOD400 nos diversos modelos. Na Figura 2 é possível observar a zona do tratamento da instalação nas suas configurações inicial e final. Os vários desafios BIM que foram encontrados durante o projeto são apresentados nas secções seguintes.

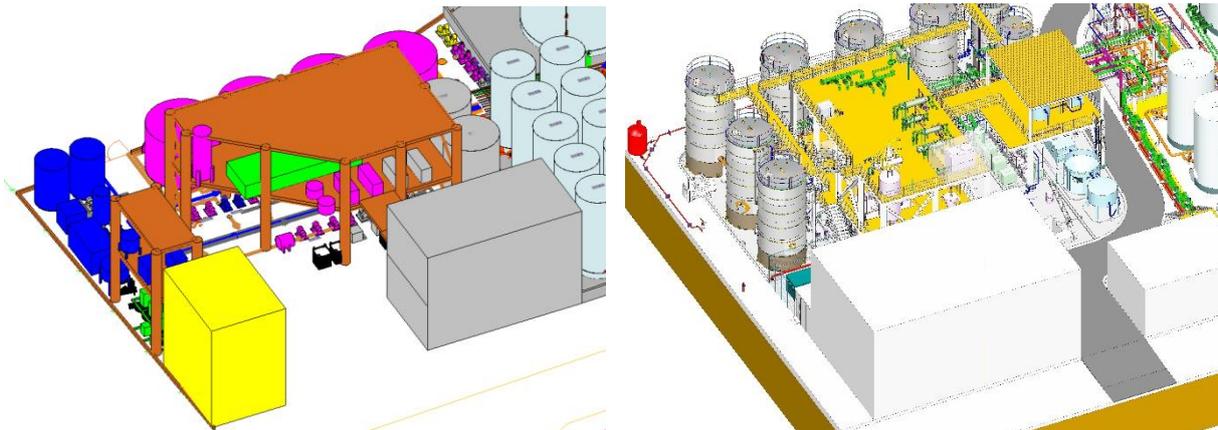


Figura 2: À esquerda: modelo inicial LOD100 e LOD200, à direita: modelo final LOD300 e LOD400.

3.1. Equipamentos

A disposição dos equipamentos era uma das principais condicionantes no *layout* da instalação. Uma vez que o projeto contemplava duas fases distintas (Estudo de soluções alternativas e Projeto de Execução), o nível de detalhe dos objetos evoluiu ao longo do tempo. Numa fase inicial não existia uma definição exata dos equipamentos (não estavam escolhidos fornecedores), o que levou a uma modelação com um grau de detalhe reduzido em LOD200: reservas de espaço de dimensões aproximadas, sendo possível identificar visualmente através da cor a etapa do processo a que os equipamentos pertencem, e através da informação não geométrica o tipo de equipamento. Com a evolução do projeto foi necessário aumentar o grau de detalhe, sendo alcançado um LOD350 como está exemplificado na Figura 3. Este LOD era o que permitia simultaneamente:

- Obter a localização exata dos pontos de ligação dos equipamentos às tubagens, permitindo a coordenação entre estas duas especialidades;
- Obter a localização exata dos apoios dos equipamentos, necessária para a conceção e o cálculo das estruturas metálicas de suporte;
- Identificar imediatamente de forma visual o tipo de equipamento modelado;
- Estimar de forma exata os avançamentos dos equipamentos;
- Obter os desenhos de conceção da instalação, em particular, de posicionamento dos equipamentos, sem ser necessária edição 2D sobre os elementos obtidos diretamente dos modelos.

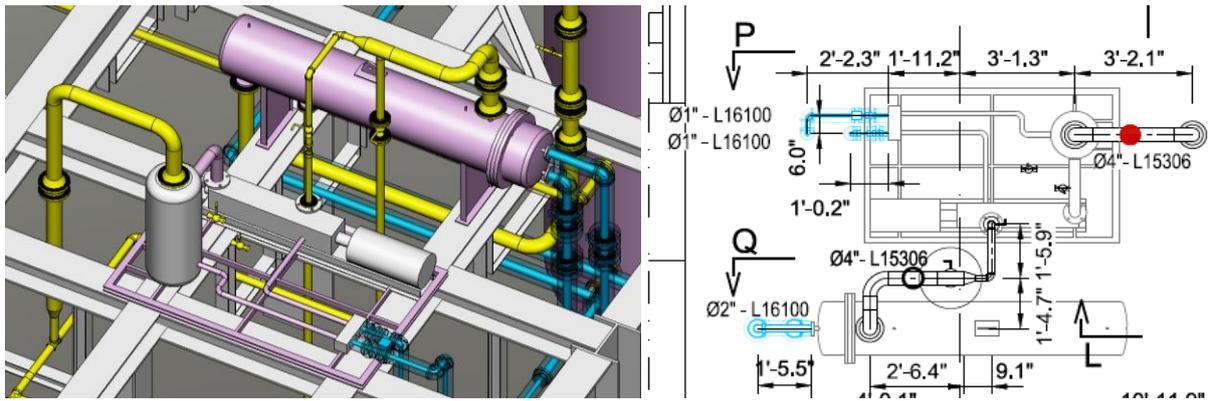


Figura 3: Modelo LOD350 dos equipamentos e extração 2D: localização das ligações às tubagens e apoios para estrutura metálica.

3.2. Tubagens

Os modelos das tubagens seguiram uma abordagem semelhante à dos equipamentos. Numa fase inicial foram estudadas várias alternativas de *layout* da instalação, sendo que o posicionamento dos equipamentos era sucessivamente modificado. Estas alterações tinham implicações na colocação das tubagens de processo. Para reduzir o esforço de modelação, as tubagens foram inicialmente modeladas num LOD100: esquemas 2D unifilares que ligavam os principais componentes de cada circuito. Esta abordagem permitiu limitar o tempo despendido na produção de modelos, e apesar de limitar o alcance do trabalho (não possibilitava a compatibilização geométrica nem a extração de desenhos ou quantidades), era eficaz na forma como comunicava os vários circuitos permitindo justificar o posicionamento dos equipamentos (proximidade de etapas de tratamento consecutivas, minimização do percurso do líquido, etc.). Com a estabilização da solução, passou-se à modelação dos circuitos hidráulicos em LOD300: sistemas específicos, com as dimensões reais, com os respetivos componentes, válvulas e acessórios, individualizados e especificados de acordo com as respetivas normas. Este era o nível de detalhe mais reduzido que permitia alcançar os usos BIM dos modelos, com o menor esforço de modelação possível. As diferenças entre os dois podem ser observadas na Figura 4.

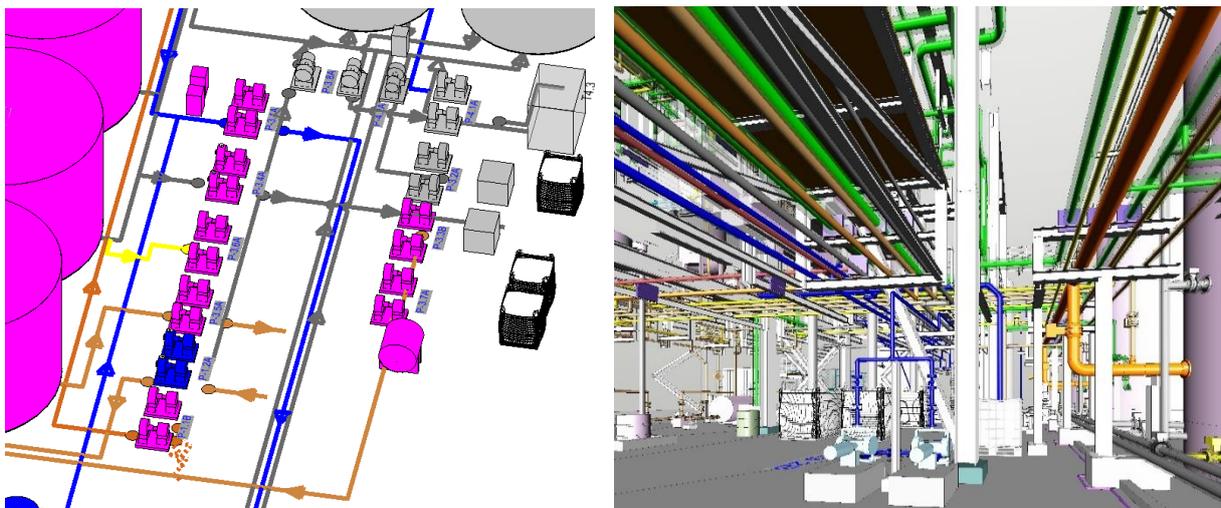


Figura 4: À esquerda: tubagens LOD100, à direita tubagens LOD300.

Neste projeto procurou-se aumentar a capacidade BIM da empresa através da utilização dos modelos físicos para o estudo de tensões/deformações das tubagens da instalação em diversas situações tais como: condições de operação, durante a instalação (variações de temperatura e de pressão) e ação sísmica. Pretendia-se, desta forma, reduzir o tempo de trabalho evitando reproduzir o modelo analítico dos sistemas em estudo, e aumentar a compatibilização entre as especialidades. O objetivo final passava por alcançar um processo de trabalho que permitisse analisar de forma expedita as alterações de traçado das redes e rapidamente compreender o seu impacto no respetivo dimensionamento.

O processo de trabalho utilizado estava limitado pela interoperabilidade entre os programas de modelação BIM e de cálculo das tubagens (não foi encontrado, pela equipa de projeto, nenhuma ferramenta que permitisse de forma viável integrar estas duas componentes no mesmo ambiente de trabalho). As tubagens tinham de ser modeladas com todos os seus elementos individualizados e com informação relativa à sua constituição (LOD 300) e os apoios tinham, como mínimo, de ser modelados de forma genérica mas com a definição analítica correta (LOD 200). Este modelo era de seguida exportado para o software de análise onde era adicionada informação de cálculo (ações sobre os circuitos). O processo apresentava algumas limitações, nomeadamente:

- A modelação no ambiente BIM era bastante exigente, sendo obrigatória a existência de ligações / conectores analíticos entre as tubagens – algo que não seria necessário para alcançar os outros objetivos BIM dos modelos;
- Nem toda a informação das tubagens era transmitida entre os softwares, sendo necessário voltar a adicionar essa informação no modelo de cálculo;
- A complexidade dos circuitos obrigava a uma divisão cuidadosa da instalação em vários submodelos de cálculo;
- A ligação entre *softwares* (OpenPlant e Autopipe) não era bidirecional.

Por outro lado, existiam ferramentas que permitiam ultrapassar algumas destas dificuldades, nomeadamente:

- O processo de exportação permitia isolar os elementos modificados, limitando a quantidade de informação que era exportada e editada quando existiam alterações de traçado;
- O processo de adição de informação no modelo analítico era simples e rápido.

Devido às limitações encontradas, o processo de trabalho teve de ser sucessivamente melhorado: foram criados novos campos nos objetos BIM, ligados diretamente à base de dados do programa, de forma a minimizar o trabalho de edição da informação no software de cálculo, e o processo de modelação foi melhorado (foram estabelecidas regras mais estritas de modelação, bem como um processo sistemático de verificação do modelo) para aumentar a conectividade entre tubagens e sistemas, etc.

No final do processo todos os circuitos relevantes foram estudados com este mecanismo, sendo obtidos 12 submodelos de cálculo como o que é apresentado na Figura 5.

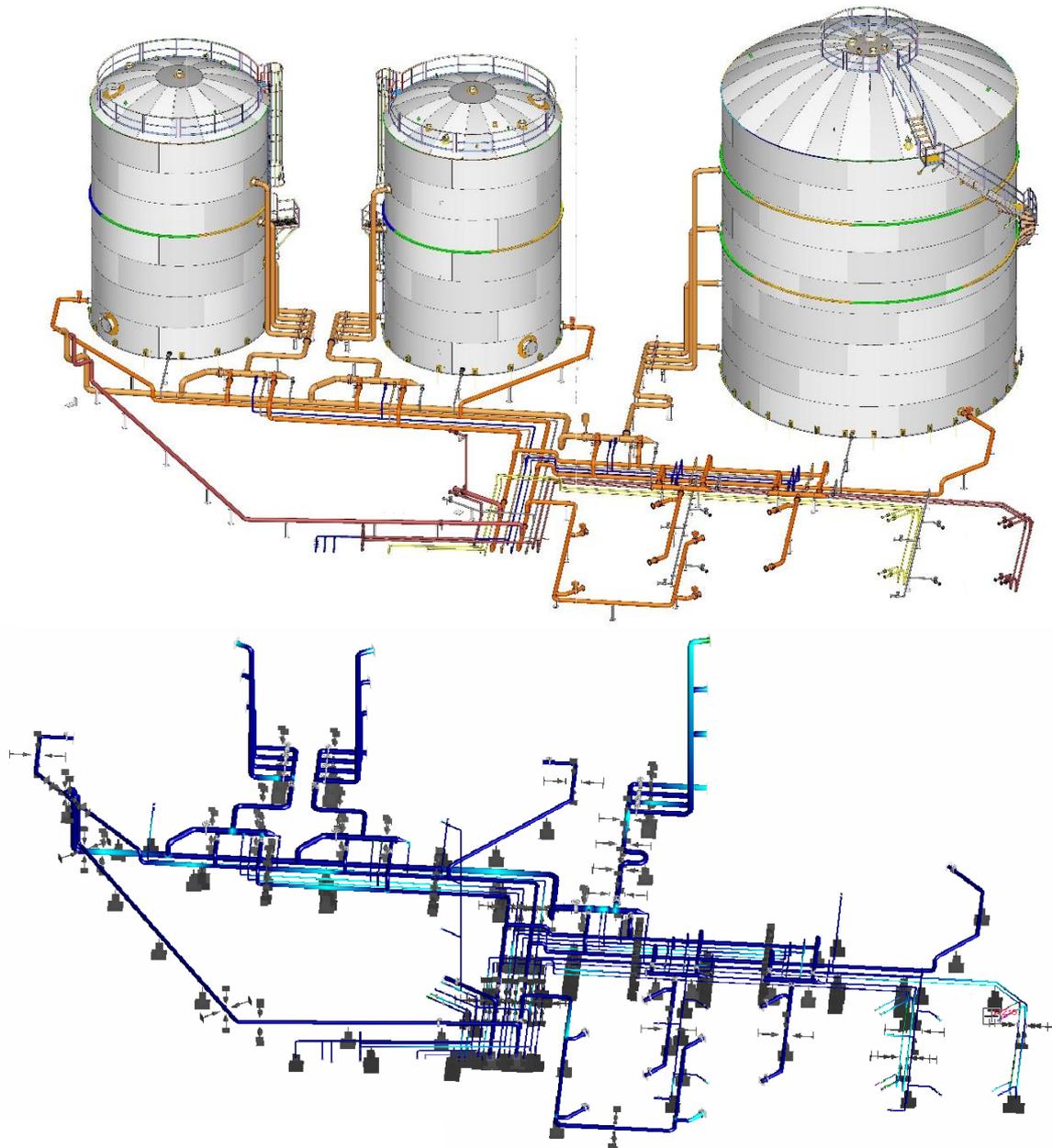


Figura 5: No topo: modelo BIM final da zona de armazenamento; em baixo: respetivo modelo de cálculo.

3.3. Estruturas

Devido ao conhecimento adquirido em projetos anteriores, os usos BIM definidos para a especialidade de Estruturas (compatibilização, extração de desenhos e de listas de quantidades) não apresentavam elevados desafios para o projeto. O principal desafio surgiu no cálculo das estruturas que serviam de apoio às tubagens da instalação. As ações mais relevantes a atuar sobre estas estruturas (inputs ao cálculo estrutural) são os efeitos que as tubagens impõem devido ao seu deslocamento, efeito da dilatação e contração durante a operação da instalação. Estes efeitos são obtidos a partir do estudo de tensões/deformações das tubagens (outputs do modelo analítico das tubagens).

A ausência de interoperabilidade entre os *softwares* de cálculo obriga à introdução manual destas ações sobre os apoios. Na solução final para o projeto foram contabilizadas mais de 400 estruturas de apoio, a sua maioria a suportar vários circuitos em simultâneo. A elevada quantidade de informação que seria necessário processar de forma manual torna inviável a análise estrutural exaustiva do problema, sem recorrer a processos automatizados. As interfaces entre as duas especialidades (estruturas e *piping*) foram avaliadas e agrupadas por tipologia e por ordem de grandeza das ações, permitindo reduzir o número de estruturas estudadas. Esta situação traduziu-se na conceção de soluções que não estavam necessariamente otimizadas na sua capacidade de carga, mas que, devido à sistematização e repetição das soluções, permitia reduzir tempos e custos em obra, sendo por isso mais vantajosa do ponto de vista económico. Esta sistematização dos apoios tem ainda a vantagem de permitir utilizar objetos paramétricos (criados especificamente para o efeito) de geometria constante, variando apenas um conjunto de parâmetros predefinidos, como os que são apresentados na Figura 6.

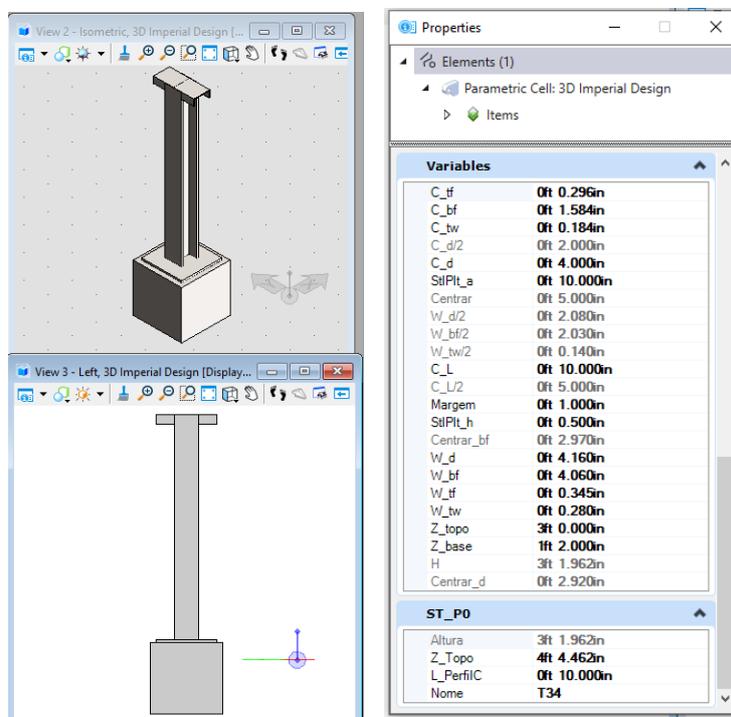


Figura 6: Objeto paramétrico de estruturas e parâmetros de controlo.

Com esta abordagem foi possível ultrapassar um problema identificado em projeto, ainda que esta não seja a solução ideal. Os constrangimentos identificados devem ser ultrapassados com soluções que permitam a eficaz integração entre os diferentes modelos, mas que por limitações de cumprimento dos prazos do projeto não foi possível investigar/aprofundar.

3.4. Coordenação 3D

O ambiente BIM serviu também para integrar elementos criados por entidades externas como ocorreu com os tanques de armazenamento e o processo da instalação. Para garantir a coordenação entre as várias especialidades e a fabricação e instalação dos equipamentos, foram utilizados, numa primeira fase, modelos geométricos simplificados dos tanques para a definição

do *layout* (LOD200). No desenrolar do projeto, a informação dos tanques (dimensões e interfaces) foi transmitida ao fabricante, que desenvolveu os modelos 3D detalhados (LOD400) que foram integrados no ambiente BIM para verificar a compatibilidade com o restante projeto. A integração dos modelos externos trouxe novos desafios, uma vez que o elevado grau de detalhe destes objetos (produzidos para fabricação) sobrecarregava o modelo BIM global e dificultava as operações de manipulação e extração de informação. A situação foi minorada através da conversão dos formatos dos modelos dos tanques para posterior inserção no modelo BIM. Apesar do tempo de resposta continuar a ser superior ao esperado, foi possível integrar estes modelos de forma compatível com todos os usos estabelecidos para a metodologia BIM. Na Figura 7 podem ser observados objetos dos tanques utilizados na fase de definição do *layout*, e os mesmos objetos elaborados pelo fabricante e introduzidos no ambiente BIM.

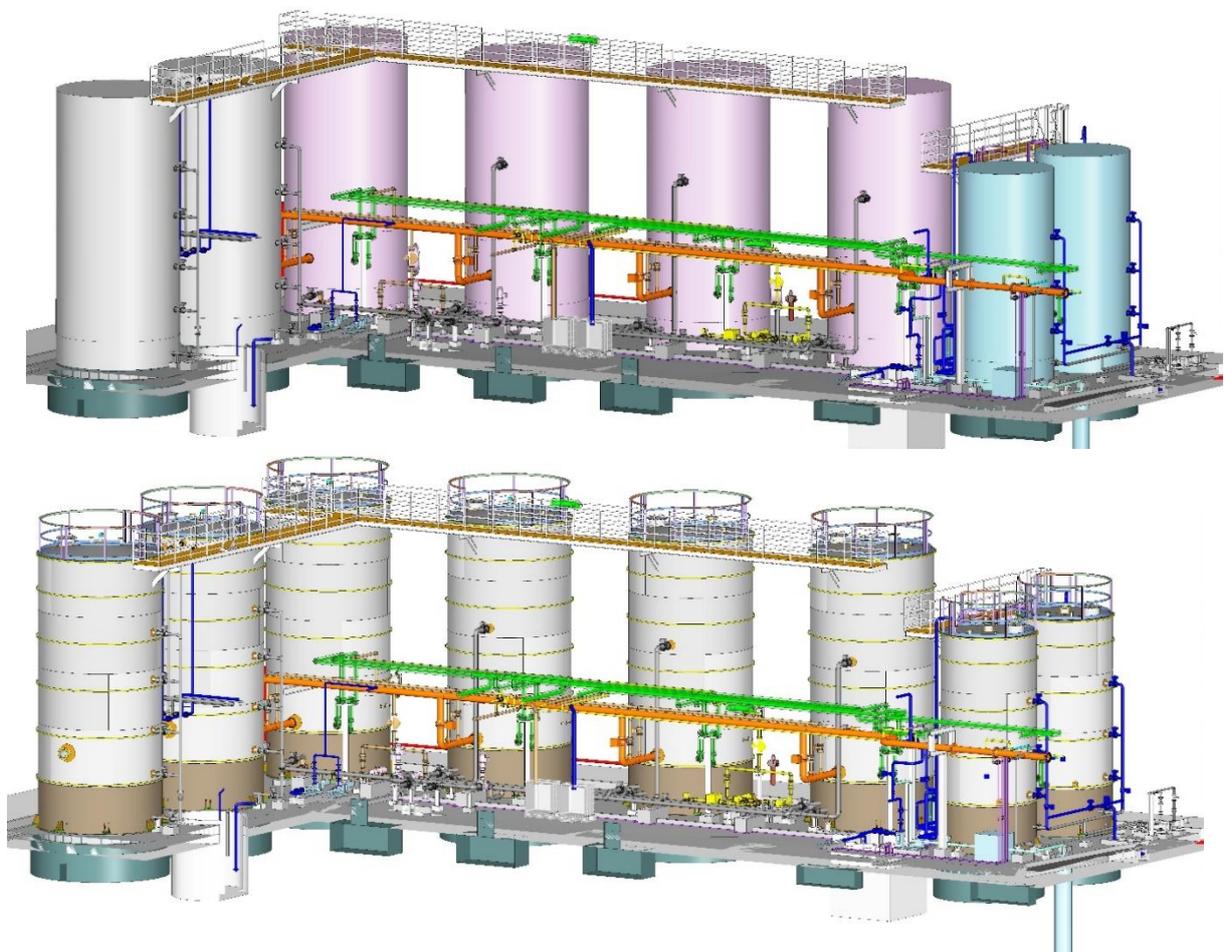


Figura 7: No topo: Objetos dos tanques LOD200; em baixo: Tanques em LOD400.

4. Resultados

A abordagem digital utilizada resultou na elaboração de 17 modelos BIM, os quais evoluíram durante o projeto, sendo compostos por objetos com diferentes graus de detalhe, desde o

LOD100 até ao LOD400. Destes modelos foram extraídos 130 desenhos detalhados ao nível de Projeto de Execução e praticamente todas as quantidades das especialidades modeladas, necessárias para orçamentação da obra que era composta, entre outros, por cerca de 5000 metros de tubagens, 3500 acessórios e 1000 válvulas. A especialidade de Eletricidade beneficiou também dos modelos, tendo o seu projeto sido desenvolvido com base nos desenhos extraídos do ambiente BIM. Foram ainda obtidos 12 modelos de cálculo para as tubagens que foram sucessivamente atualizados para refletir as alterações no *layout* da instalação. A solução preconizada para a instalação foi sucessivamente melhorada de forma a que, no final, não existissem conflitos / colisões entre os elementos modelados. A solução final da instalação pode ser observada na Figura 8.

A comunicação com o cliente foi efetuada quase exclusivamente através do modelo BIM, que era fornecido no formato de PDF 3D. O modelo era o principal meio para comunicar e analisar as diferentes soluções do projeto. Também a análise das condições de operação e manutenção foi realizada com recurso ao modelo 3D, em reuniões onde eram ensaiadas de forma expedita, diferentes soluções com vista a melhorar as condições de funcionamento da instalação.



Figura 8: Imagens realistas da instalação na sua configuração final.

5. Desenvolvimentos futuros

O projeto da instalação de tratamento de resíduos MARPOL foi elaborado com recurso a ferramentas e processos de trabalho BIM, aproveitando muito do conhecimento e experiência gerada em projetos anteriores. No entanto, e na procura constante de melhorar os processos produtivos da empresa, foram ensaiadas novas abordagens BIM ao projeto, nomeadamente na alternância dos vários LODs dos objetos conforme as necessidades identificadas, e na utilização do modelo BIM para o cálculo da integridade estrutural das tubagens. Esta aplicação permitiu um primeiro contacto com este uso BIM, sendo ainda necessário melhorar alguns aspetos. A interação entre o modelo BIM e o modelo de cálculo é o primeiro desafio, sendo relevante aumentar a interoperabilidade entre estes dois de forma a minimizar o trabalho de reintrodução de informação no modelo de cálculo. A interação entre os modelos de cálculo estrutural e das tubagens é igualmente relevante, de forma a simplificar a inclusão das principais ações nas estruturas de suporte dos circuitos hidráulicos.

A especialidade de Eletricidade não foi modelada o que significa que a coordenação geométrica foi realizada de forma tradicional, sendo analisadas as plantas e cortes do projeto. Apesar desta especialidade se adaptar facilmente às condições locais, não deixa de ser uma componente relevante do projeto (em particular no caso de um projeto industrial), e que deverá ser incorporada no futuro na modelação BIM.

Neste projeto não foram produzidos os desenhos isométricos das tubagens. No entanto, o grau de detalhe dos modelos juntamente com a informação que os objetos contêm será suficiente para a elaboração destes elementos. Este aspeto será investigado para futuros projetos, sendo necessário encontrar o melhor processo de trabalho para obter as isometrias de forma rápida e eficaz.

Referências

- [1] BIM FORUM, *Level of Development Specification Guide*, November 2017.
- [2] American Institute of Architects, *AIA Document G202 – Project Building Information Modeling Protocol Form*, , 2013.
- [3] N. Davies, *Practical Architectural Modelling with AECOSim Building Designer*, 1st ed. Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2008.
- [4] C. Eastman, *BIM Handbook, a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons Inc., 2011
- [5] Bentley Systems, Incorporated, "2016 Infrastructure Yearbook " Bentley, 2017.