



APRESENTAÇÃO DA EMPREITADA DA 3ª FASE DE AMPLIAÇÃO DO MOLHE/QUEBRAMAR LESTE DO PORTO DE SINES

André Vinhas; Antero Alves; Pedro Vasconcelos; Ricardo Miragaia
(Conduril – Engenharia SA)

andre.vinhas@conduril.pt, aalves@conduril.pt, pedro.vasconcelos@conduril.pt, rmiragaia@conduril.pt.

Introdução

O objetivo deste documento é apresentar, de forma sucinta, a empreitada da 3ª Fase de Ampliação do Molhe Leste do Porto de Sines. Esta empreitada, consiste na ampliação em 750 metros o molhe leste do Porto de Sines, que dá abrigo ao Terminal XXI.

A empreitada teve o seu início em fevereiro de 2020 e o seu término está previsto para o início de 2023.

Resumidamente, as atividades a executar são:

- Exploração de pedra, produção, fornecimento e colocação de TOT e enrocamentos selecionados de diversas gamas de peso de 0,01 kN até 60 kN;
- Pré-fabricação e colocação de blocos de betão *Antifer* de pesos individuais 695 kN, 712 kN, 843 kN e 847 kN;
- Betonagem de superestrutura no coroamento do molhe;
- Remoção do farol existente e respetiva recolocação;
- Execução da instalação elétrica para abastecimento de energia ao novo farolim.

Neste documento vai ser dado maior ênfase às atividades de exploração da pedra, à pré-fabricação dos blocos *Antifer* e a execução do molhe com a colocação de enrocamentos e blocos. Será explanada a metodologia aplicada e os métodos de preparação e modelação utilizados.

Exploração da pedra

É a fase da empreitada, que podemos classificar como atividade primária, na qual ocorre a produção a partir da exploração dos recursos naturais existentes na área da pedra destinada à Conduril.

Nesta etapa, são obtidas as matérias primas fundamentais para a realização da obra – agregados para o betão e os diferentes enrocamentos constituintes do corpo do molhe. Apesar de ser uma atividade fundamental, não traz por si só grande valor acrescentado, não gerando uma produção de valor. Esta é uma característica do que em economia se habituou chamar de – setor primário – que acrescenta pouco valor, se não houver a sua transformação em produtos de valor acrescentado, por um processo industrial.

Quantidades macro da exploração (Tabela 1):



Tabela 1 - Quantidades macro de exploração

Designação	Quantidade	Unid
Desmonte em bancada		
Necessidades	1 500 000	m ³
Enrocamentos		
0,01 - 10 kN	1 450 000	m ³
0,5 - 5 kN	181 000	m ³
10 - 30 kN	93 000	m ³
30 - 60 kN	178 000	m ³
Agregados		
Necessidades	1 058 000	tn

Condicionalismos

Dos principais condicionalismos encontrados na exploração da Pedreira de Monte Chãos, podemos dividi-los em três grandes tipos:

- Localização:
 - A pedreira está localizada na proximidade do núcleo urbano e industrial de Sines;
 - Há historicamente contestação da população pela exploração da pedreira;
 - Proximidade de estruturas civis de relevância (escolas, piscina, depósitos de água, estação de monitorização ambiental, entre outros);
 - Existência de vestígios arqueológicos no limite de exploração;
- Características geológico-estruturais:
 - Grande heterogeneidade de material nas frentes;
 - Frentes virgem bastante fraturadas e alteradas;
 - Existência de bancadas com dupla altura e banquetas estreitas;
 - Grande altura de descobra;
- Imposições contratuais:
 - Imposições mais gravosas, que a norma, no controlo das vibrações e velocidades;
 - Área de exploração limitada;
 - Simultaneidade de exploração da pedreira por outras entidades;
 - Necessidade de acompanhamento arqueológico;
 - Questões de controlo ambiental estritas;

Métodos de desmonte

O método adotado para o maciço rochoso foi a perfuração e desmonte com recurso a explosivos. Na descobra optou-se por um sistema misto, ou seja, ação mecânica com recurso a equipamentos de escavação até encontrar material mais resistente e perfuração e desmonte com recurso a explosivos até atingir o maciço rochoso com as características para ser incorporado na empreitada. O material da descobra foi carregado e transportado para fora das frentes de exploração.



Perfuração e desmonte – Plano de fogo

A perfuração é das primeiras atividades a realizar quando estamos a falar de desmonte com recurso a explosivos de um maciço rochoso. Esta tarefa é a que tem um menor peso no custo da atividade, no entanto, é de crucial importância para a qualidade e otimização das restantes operações, nomeadamente: carregamento, fragmentação, carga e britagem.

A qualidade do desmonte indireto depende largamente da qualidade do plano de fogo. Este define a qualificação e quantificação dos explosivos, os esquemas de ligação e iniciação entre furos e o plano de perfuração onde são definidos elementos de profundidade e inclinação do furo, o diâmetro de perfuração, o afastamento e espaçamento entre furos entre outros elementos que se julguem úteis.

Para uma boa eficácia do plano de fogo, é indispensável a definição dos parâmetros da pega em função do tipo de fragmentação requerido, tendo em vista a sua utilização futura. Há também que ter em conta a questão económica, na definição da malha.

Por exemplo: malha de perfuração - jogando com o afastamento e espaçamento dos furos, podemos controlar a fragmentação da rocha. Genericamente a diminuição do afastamento aumenta a fragmentação. Em termo de custos - uma maior malha, traduz-se num menor número de furos e por consequência num menor custo, assumindo constância nos outros parâmetros;

Na empreitada tivemos a necessidade de manter um equilíbrio, muitas vezes delicado, entre a necessidade de material mais fragmentado, em grandes quantidades, para alimentar as centrais de britagem e os enrocamentos tipo TOT (0.01 kN – 10 kN) e a necessidade de enrocamento de maior dimensão. Muitas vezes levou-nos a assumir uma subprodução instantânea, em produções para *stock*, dos enrocamentos de maior dimensão.

Nota: é fácil produzir só material de pequenas granulometrias, mas impossível produzir só material de grandes granulometrias (para enrocamentos).

Carga e transporte

A carga é fortemente influenciada pela dimensão do material que sai do desmonte, pois uma maior fragmentação traduz-se num maior rendimento do equipamento de carga.

No caso da empreitada em apreço, a necessidade de fazer a seleção em função das dimensões dos enrocamentos requeridos e do material para alimentar as centrais de britagem, levou a que, tirando situações de ponta em que se trabalhou exclusivamente para TOT e agregados de betão, houve rendimentos mais baixos na carga, ainda que em linha com o esperado.

O transporte foi dimensionado tendo em atenção as necessidades médias do período mensal máximo, o que levou a ter uma capacidade instantânea de transporte de 700 ton, com o transporte de 10 000 m³ de material por dia. A solução que se adotou, foi exclusivamente com camiões articulados e camiões rígidos tipo *dumper*, pois a circulação de e para o molhe, é integralmente realizada dentro de vias intra portuárias da jurisdição do cliente (APS). Esta solução permitiu maior capacidade de transporte, fiabilidade e agilidade, mesmo em situações de mau tempo.

Britagem de inertes para betão

A instalação da central de britagem de inertes para betão foi idealizada para alimentar as necessidades de agregados para a produção de betão necessário ao fabrico de blocos tipo *Antifer*.

Assim, para uma solução de produção média diária de betão na ordem de 1 000 m³ e produção de ponta de 1 400 m³, foi pensada uma solução de central de britagem móvel, constituída por primário (britador de maxilas), secundário (moinho cónico) e terciário (crivo), com capacidade teórica de 200 ton/h. A este conjunto de equipamentos foi acoplado uma torva fixa, que permite a descarga direta com *dumpers* de 40 ton, alimentando, por sua vez, o primário.



Pré-fabricação de blocos *Antifer*

O projeto prevê a produção de 4 tipologias de blocos *Antifer*, com os pesos de 695 kN, 712 kN, 843 kN e 847 kN, com as seguintes quantidades:

- Blocos 695 kN – 5159 unidades
- Blocos 712 kN – 3133 unidades
- Blocos 843 kN – 4895 unidades
- Blocos 847 kN – 233 unidades

Estas quantidades, com um volume de 27,5 m³ por cada bloco, representam um total de 369 050 m³ de betão.

Fabrico de betão

Sendo uma frente com um grande volume de trabalho, adotou-se a estratégia de utilizar apenas duas composições, uma para os blocos de menor peso, de 695 e 712 kN e outra para os blocos de maior peso, 843 e 847 kN. Esta solução, com o objetivo de atingir os pesos mais elevados em cada uma das tipologias, mas percebendo a heterogeneidade da pedra, garantiu alguma flexibilidade na produção, com a produção simultânea de duas tipologias de cada vez.

No caso dos blocos de 695 e 712 kN, todos os inertes são extraídos da pedra de Monte Chãos (APS), conforme o descrito nos pontos anteriores - com a exceção natural da areia e do cimento.

Já para as tipologias 843 e 847 kN, foram executados com ASIC (Agregado Siderúrgico Inerte para a Construção) com duas granulometrias, uma 0/6 e outra 0/40. A restante mistura é realizada com inertes da pedra, com a exceção do cimento.

A capacidade de produção instalada é de, no máximo, 50 blocos diários (situação condicionada pelo espaço e cofragem necessária para a execução de mais do que esse valor).

Os consumos apurados até ao momento, tal como foi descrito nos pontos anteriores, atinge picos de 1400 m³/dia e tem um volume médio de consumo de betão de 1000 m³/dia.

Falta de cinzas no mercado nacional

Uma das grandes questões encontradas logo no início desta empreitada foi a falta de cinzas no mercado nacional e a grande dificuldade de importação das mesmas, com os parâmetros de qualidade portugueses.

Esta questão veio a criar um problema no tipo de cimento a utilizar (que de acordo com o projeto era um CEM IV 42,5). A solução encontrada, depois de vários estudos e abordagens, foi a utilização de um cimento tipo CEM II/A-L 42,5R, com o auxílio na produção de um *chiller* de refrigeração para a água, para garantir temperaturas na hidratação mais baixas e evitar os problemas mais comuns numa cura com libertação de grandes energias de hidratação.

Inerte denso para os blocos das tipologias mais elevadas

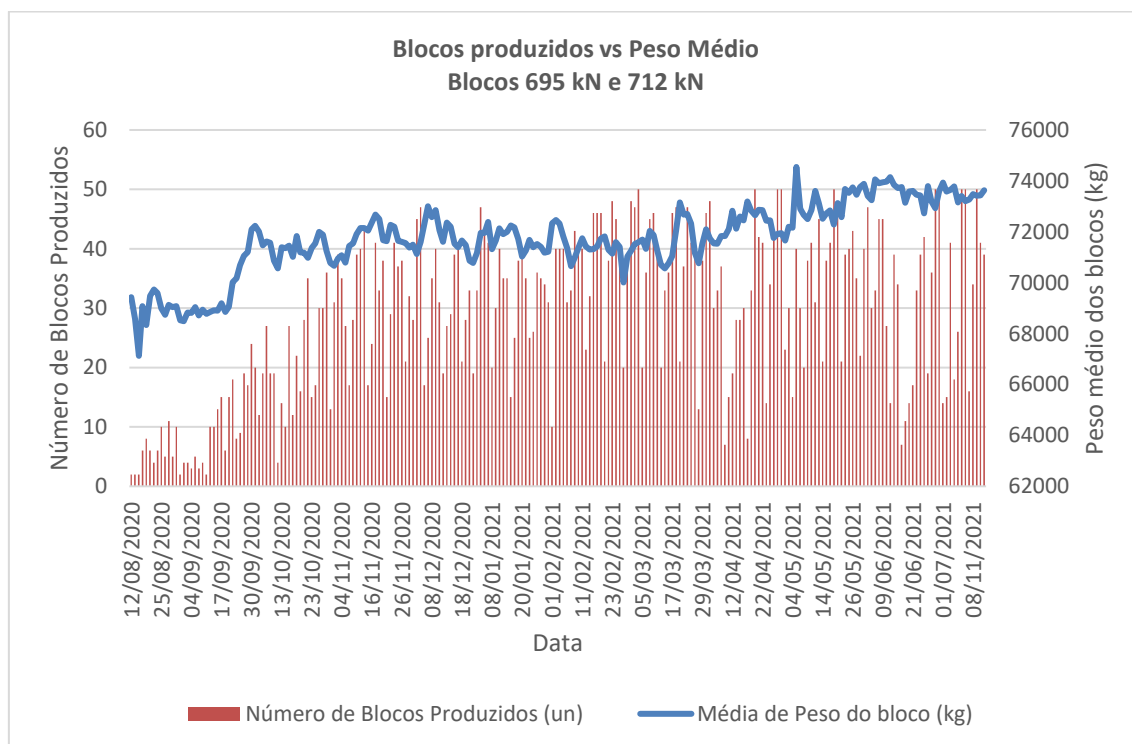


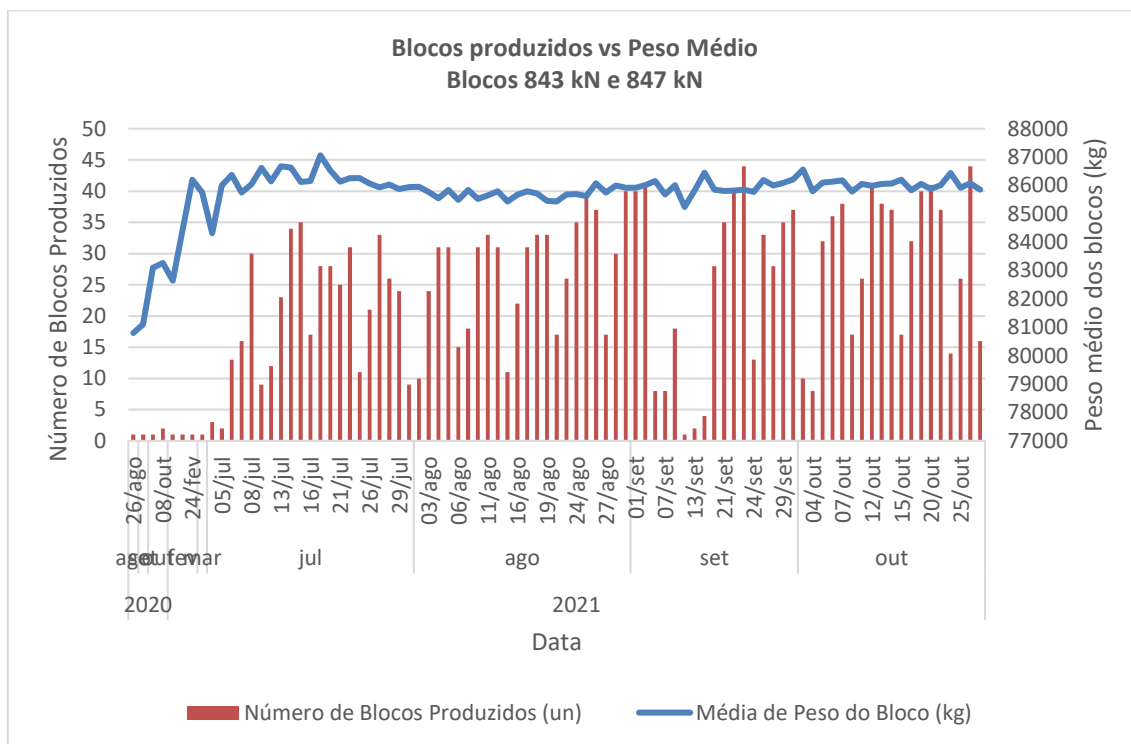
Outro grande desafio existente nesta empreitada foi a utilização de inertes com densidades muito elevadas para a produção dos betões para os blocos de 843 e 847 kN. Como já foi referido anteriormente, a escolha recaiu sobre o ASIC, trabalhado em duas granulometrias – 0/6 e 0/40. Face às quantidades necessárias para a empreitada, neste momento a empresa Harsco – fornecedor deste material, tem o compromisso de fornecer em exclusivo todo o ASIC desta empreitada através da Siderurgia Nacional do Seixal. Toda a produção de ASIC desta unidade de produção está a ser encaminhado para a empreitada em estudo até meados de 2022.

Heterogeneidade da pedra e as suas consequências

Todos os inertes britados (com a exceção do ASIC para os blocos mais densos) são recolhidos e tratados na pedreira de Monte Chãos, já retratada nos pontos anteriores.

Sendo uma pedreira, existe alguma heterogeneidade natural na rocha extraída. Esta heterogeneidade, sendo uma situação comum, tornou-se um problema na homogeneidade necessária para a produção dos betões. Após alguns estudos, tentativas e ensaios, verificou-se cada vez mais uma homogeneidade melhor na produção de betão, situação bem retratada nos gráficos seguintes.





Nos últimos seis meses de produção até à data de elaboração deste documento, o peso médio dos blocos de 695 e 712 kN é de 73400 kg e dos blocos de 843 e 847 kN é de 85980 kg.

Frente Marítima

No âmbito dos trabalhos marítimos, a empreitada contempla:

- a execução de um Cais de Construção, cujo projeto e execução são da responsabilidade da Entidade Executante;
- a ampliação do molhe numa extensão de 750,00 m.

Cais de Construção

O objetivo do cais é servir de apoio à construção do Molhe, para o transporte por via marítima de materiais pétreos (TOT e enrocamentos para filtros).

Inicialmente o cais previa-se ser construído com dois caixotões disponibilizados pela APS, no entanto nas operações de reflutamento e transporte, um deles afundou-se durante o reboque, devido a danos existentes na laje de fundo. Esta situação conduziu à necessária reformulação do projeto, passando o cais a ser constituído por um caixotão, contentores marítimos a servir de cofragem e aduelas, em vez dos dois caixotões inicialmente previstos.

De acordo com as premissas de concurso, o cais tem as seguintes características:

- Comprimento 50 m
- Profundidade (bacia de acostagem) - 10 m (ZH)
- Laje de coroamento do cais
- Cota do pavimento. + 6 m (ZH)



- Largura mínima da laje 6 m

Para a sua construção a metodologia de construção estabelecida foi:

- colocação de TOT por descarga direta e com auxílio de uma escavadora de braço longo em cerca de 80% da área do prisma de fundação;
- dragagem do material excedente, acima da cota do prisma de fundação e da camada de regularização para assentamento dos elementos estruturais, com auxílio de uma escavadora de braço longo instalada num pontão com “spuds”;
- colocação da camada de regularização com auxílio de pontão com escavadora e uma grua de rastos com balde e *grab*;
- reflutuamento e reboque do caixotão do local onde esteve afundado temporariamente, para o local definitivo;
- afundamento do caixotão com auxílio do pontão, rebocador, lancha de apoio, cabos de aço passados a terra, topografia e equipa de mergulho;
- enchimento parcial das células do caixotão com TOT;
- afundamento de contentores e betonagens do interior dos mesmos;
- colocação de aduelas;
- betonagem de aduelas;
- reforço do talude frontal do prisma de fundação com enrocamento;
- betonagem da superestrutura;
- aterro final e acabamentos;

Estes trabalhos foram acompanhados em permanência pela equipa de topo hidrografia da obra e a equipa de mergulho.

Para a sua preparação e execução foi necessário desenvolver e implementar procedimentos, previamente aprovados e autorizados pelas autoridades intervenientes (Capitania, Polícia Marítima, APS e CDN).

A partir deste cais faz-se a carga do batelão ao serviço da obra, com o objetivo de executar as descargas por via marítima.

Ampliação do Molhe

O batelão é carregado com duas escavadoras de grande capacidade, no cais executado para esse fim.

O abastecimento de TOT e enrocamentos é feito diretamente da pedreira, da frente de exploração ou de stocks. O transporte é feito por *dumpers* em via intra portuária. Devido às características dos equipamentos de transporte é à frequência diária de passagem no viaduto V5 de acesso à portaria do molhe leste, a Conduzil propôs à APS a execução de um caminho alternativo a este viaduto, no sentido de circulação pedreira/cais/molhe. Esta solução permite reduzir a ação da passagem dos *dumpers* carregados e maior segurança na circulação neste local em particular.

Todo o acesso desde a pedreira ao cais e ao molhe estão sinalizados, com especial incidência na sinalização vertical e luminosa.

Atendendo ao facto de se trabalhar 24h/6d, com uma elevada intensidade de tráfego, a Conduzil dispõe de uma equipa que se ocupa da manutenção dos acessos. Esta equipa, em termos de equipamento, é composta por uma niveladora, uma bulldozer, duas cisternas para rega, uma vassoura e um cilindro.



Transporte por via marítima

Para realização das descargas via marítima, foi feito um grande trabalho de preparação e posterior acompanhamento da parte do nosso sector de preparação e topo hidrografia. Todo o trabalho via marítima, é preparado e realizado com recurso a software específico que tem um conjunto de dispositivos físicos que permitem o seu bom funcionamento e colocação com rigor. Os trabalhos via marítima têm por objetivo executar todo o trabalho que for possível até à cota - 6 m (ZH). O que não for efetivamente possível, será concluído por terra com auxílio de grua, ou, se for a uma cota que o permita, com uma escavadora de braço longo.

O batelão está equipado com o nosso software para realização das descargas, que são monitorizadas pela equipa de topo hidrografia. Deste procedimento resultam os planos de descarga preparados quase diariamente, de acordo com a evolução e necessidades, bem como as condições de agitação marítima.

A parte emersa dos filtros que não é possível concluir, ou fica em fase de conclusão pelo batelão, é terminado a partir de terra com auxílio de escavadoras de braço longo e das gruas e acessórios que existem em obra para o efeito.

Para se introduzir a ampliação do molhe, tem que se considerar a parte via marítima, anteriormente descrita resumidamente, e a parte via terrestre.

Transporte por via terrestre

Para início dos trabalhos no molhe, via terrestre houve necessidade de realizar um conjunto de trabalhos preparatórios, para acesso e para montagem das gruas.

Posteriormente procedeu-se à desmontagem parcial da cabeça do molhe existente, que teve de ser interrompida devido ao Inverno. Nesta época do ano o vento é fator condicionante.

Quando retomados os trabalhos, procedeu-se à conclusão da desmontagem da cabeça antes referida removendo blocos *Antifer* com a grua principal e com o auxílio de mergulhadores. Terminada a remoção de blocos iniciou-se a descarga via terrestre, tanto de TOT como de filtros.

A grua principal conclui, com recurso a uma “caçamba” e/ou *grab*, o que não se conseguiu concluir por via marítima e/ou por via terrestre. Essas situações são avaliadas e quantificadas pela equipa de preparação e topo hidrografia, e materializadas com sistema de GPS instalado na grua para colocação exata dos materiais necessários.

Colocação de blocos *Antifer*

Com esta grua e o mesmo sistema de GPS é feita a colocação de blocos.

Nesta empreitada esta grua irá realizar cerca de 93 a 95% do trabalho de colocação de blocos.

Devido à geometria, em particular a secção transversal, do molhe, a maior dificuldade com que a Entidade Executante se deparou é a colocação enrocamentos e blocos na base dos taludes, ou seja, à maior distância do eixo do molhe.

Para a colocação destes blocos é necessário equipar a grua com um dispositivo designado por “*superlift*” com cerca 280 ton.

Para uso deste acessório/configuração, torna-se necessário executar um conjunto de trabalhos acessórios ainda significativos, por forma a criar condições extra para o seu bom funcionamento.



Para além desta desvantagem, existe uma outra também, e com muito mais impacto que a anterior, que é a velocidade de operação do equipamento – a grua torna-se extremamente lenta.

Nas condições existentes, à parte do estudo e preparação feitos em gabinete, foi calibrado “in situ” o contrapeso a utilizar para que, ao colocar os blocos mais pesados e mais distantes, a grua fosse o “mais rápida possível”. Assim, passou a usada apenas com duas configurações. Desta forma criou-se um equilíbrio entre desempenho e operacionalidade.

Esta grua trabalha 24h/dia, dispondo de 4 operadores para o efeito. Exige ainda uma plataforma de trabalho bastante nivelada. Estas condições são verificadas no equipamento através da instrumentação que possui, nomeadamente sensores e níveis. Para se ter uma perceção da especificidade desta grua, é a segunda maior do mundo em tonelagem e deste modelo existem em todo o mundo, apenas 13 unidades.

Nesta ampliação está previsto colocar cerca de 15.000 blocos, sendo a maior distância do eixo cerca de 92 m e um peso de bloco de cerca 847 kN.

A construção do molhe progride do núcleo, em TOT, passando para os filtros em enrocamento de várias dimensões, e finalmente as camadas de blocos *Antifer*.

Integração da Metodologia BIM em obra

BIM: Conceito e introdução

O conceito BIM (**B**uilding **I**nformation **M**odeling), abordagem tecnológica inovadora que tem vindo a revolucionar globalmente o setor AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção, surgiu em resposta à necessidade de otimização dos processos de trabalho durante o ciclo de vida de um ativo – do projeto e construção à fase de operação e manutenção.

O BIM é, assim, uma metodologia de partilha de informação e de colaboração que se apoia num modelo digital 3D, criado e acessível por softwares específicos, que possibilita a manipulação virtual de uma construção.

Os modelos BIM, além de serem uma representação fidedigna das características geométricas da construção real, são também uma base de informação não-geométrica – parâmetros - que permite interações dinâmicas e automatizadas entre os vários intervenientes no processo construtivo.

Se a utilização da metodologia BIM em obras de Construção Civil de Edifícios é hoje uma realidade mais ou menos comum, o mesmo não se pode dizer relativamente à sua implementação em obras de infraestruturas marítimas, sendo escassos os exemplos da sua aplicação a nível nacional e internacional.

Objetivos e aplicação do modelo BIM em Obra

Entre outras possíveis utilizações, o modelo BIM foi implementado nesta obra com os seguintes objetivos principais:

- Otimização da preparação (quantificação, distribuição e preparação) dos blocos *Antifer* ao longo do molhe, de acordo com as suas características e restantes requisitos do projeto;
- Automatização do processo de georreferenciação de blocos *Antifer* para posterior sincronização com os sistemas GPS instalados nas gruas;

- Interligação de informação de Pré-fabricação (qualidade) e Produção (aplicação) num modelo único (base de dados), atualizado em tempo real, que garanta a sua rastreabilidade durante e após a conclusão de obra.

Desta forma, analisadas as características da obra e as necessidades específicas da sua preparação, foi construído o modelo BIM do molhe com recurso ao Software Autodesk Revit, automatizado com o seu aplicativo de programação visual *Dynamo*.

Não se tratando de um objeto corrente, como uma viga, pilar ou laje, foi necessária a criação de uma “*família Revit*”, isto é, um objeto genérico representativo de um Bloco *Antifer*, tridimensional, cuja parametrização não geométrica o diferenciava, por exemplo, na sua tipologia por peso, visto todas as características geométricas serem comuns a todos os tipos de blocos.

Outros parâmetros foram criados, específicos desta obra:

- a) Coordenada (x,y,z) correspondente à posição da lança na sua aplicação;
- b) PK correspondente;
- c) Código de Posição;
- d) Código Estrutural;
- e) Zona de Aplicação;
- f) Data de Aplicação.

No momento de aplicação de um determinado bloco na sua posição final, ao Código de Posição fica associada a data da sua aplicação e o Código Estrutural correspondente. É a partir deste momento que os dados correspondentes à sua pré-fabricação – data de fabrico, peso, ensaio de resistência do betão, entre outros - ficam associados à localização e data de aplicação no molhe, garantindo-se a rastreabilidade desta informação.

Importa salientar que, ao contrário da utilização métodos de trabalho baseados em desenhos CAD, aqui a informação é dinâmica, e sempre que um determinado parâmetro é alterado na sua fonte, todas as ligações correspondentes são atualizadas o que contribui para a otimização dos fluxos de trabalho e para uma informação mais atual e rigorosa na execução da obra, garantindo a sua qualidade final.

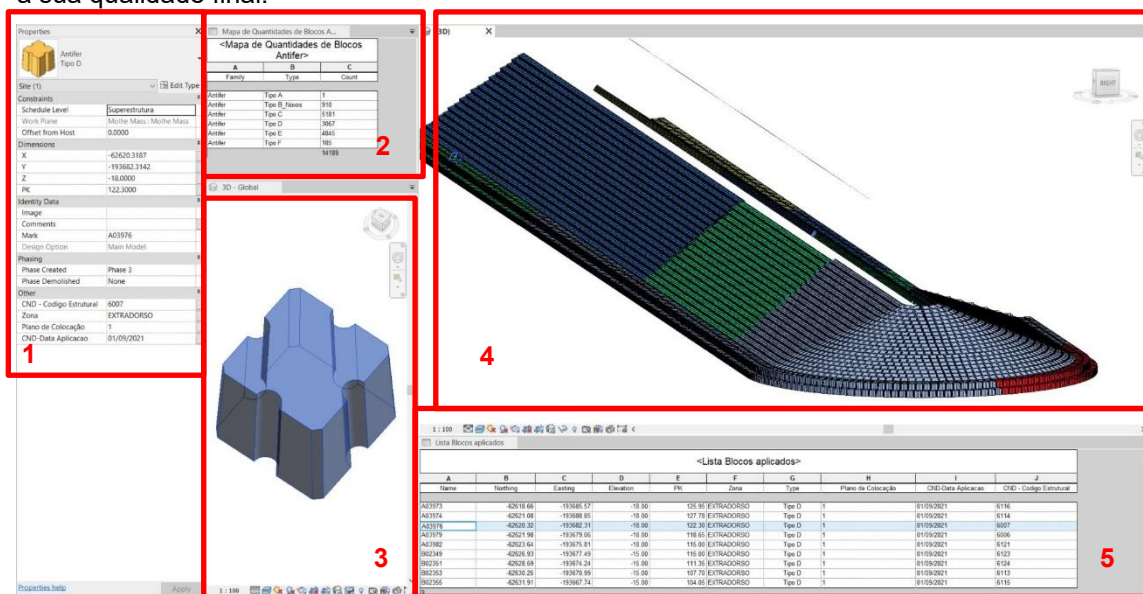


Imagem 01 - Vista dos diversos espaços de trabalho do modelo BIM no software Autodesk Revit:

- Zona 1 – Quadro propriedades do bloco Antifer selecionado
- Zona 2 – Mapa resumo das quantidades totais de blocos, por tipologia de peso



- Zona 3 – Vista tridimensional do bloco selecionado
- Zona 4 – Vista tridimensional do modelo global do molhe
- Zona 5 – Tabela de blocos aplicados com a correspondência nomeadamente do número de bloco, código estrutural, data de aplicação e tipologia de peso