

OBRA DE AMPLIAÇÃO DA OFICINA Q4

DO CENTRO DE MÍSSEIS E ARMAS
SUBMARINAS DA MARINHA (CMASM)

O DESAFIO DA CONSTRUÇÃO DE UMA OFICINA PARA TESTES E MANUTENÇÃO DE MÍSSEIS EXOCET. NO ARTIGO SERÃO DESCRITOS OS DESAFIOS DE SE CONSTRUIR UMA EDIFICAÇÃO COM REQUISITOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA ESPECÍFICOS, SENDO CAPAZ DE RESISTIR AOS EFEITOS DE UMA DETONAÇÃO DO ARMAMENTO.





A Diretoria de Obras Civis da Marinha (DOCM) participou de um grande desafio para a construção de uma nova oficina de mísseis EXOCET AM39 e SM39, sendo este último um dos armamentos do Submarino Riachuelo, parte integrante do Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB). A DOCM foi a responsável pela elaboração do Projeto Básico e pela Fiscalização Técnica da obra de ampliação da Oficina Q4 (Figura 1), localizada no Centro de Mísseis e Armas Submarinas da Marinha (CMASM).

A construção da nova oficina está alinhada com as ações estratégicas da Marinha, contribuindo para o aprestamento e preparo dos meios navais, visto que nela serão efetuados testes e manutenção dos mísseis, além de capacitação do pessoal por meio de treinamentos ministrados no local. Dessa forma, a obra é de fundamental importância para a manutenção do armamento em condição de pronto emprego, o que contribui com a capacidade de pronta resposta do País.

REQUISITOS TÉCNICOS DE ENGENHARIA

O princípio básico seguido foi a consideração de que a oficina fosse projetada e construída de forma a reduzir o risco dos militares/operadores do armamento em caso de uma detonação, garantindo a proteção do pessoal, do ambiente e do material.

Dentre os requisitos técnicos de engenharia, destacam-se aqueles relativos à capacidade da nova oficina em resistir aos efeitos de cargas pirotécnicas, ou seja, relacionados à estrutura da edificação. Dessa forma, foi determinada a construção da oficina em concreto armado, dimensionada de acordo com os parâmetros pirotécnicos.

A nova oficina é composta por fundação em *radier*, com espessura mínima de 50 cm; superestrutura em paredes de concreto armado, de 4 m de altura e espessura variando entre 65 e 85 cm; e cobertura em telhas de fibrocimento.

Figura 1 – Vista frontal da Oficina Q4 do CMASM.



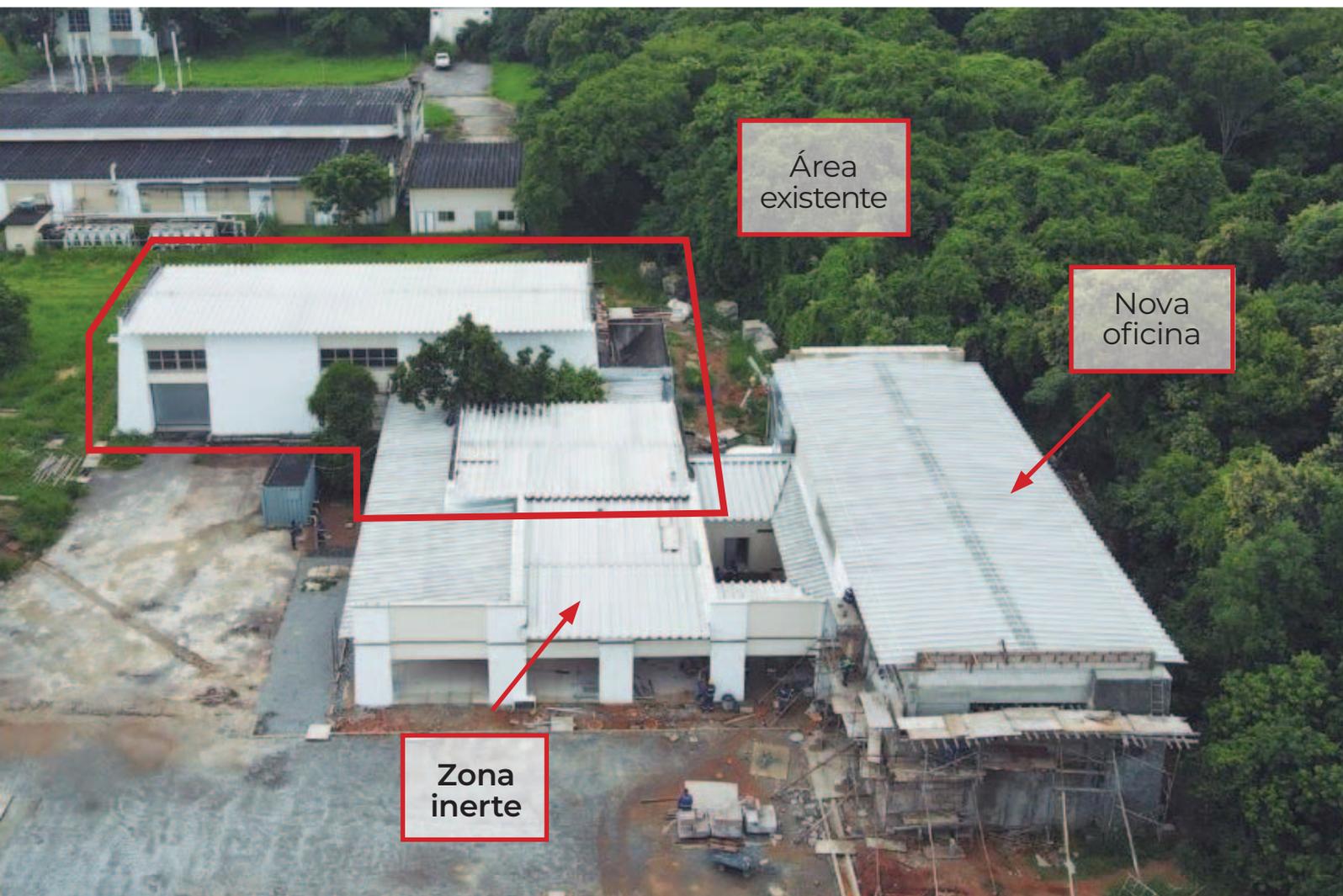


Figura 2 – Vista aérea da Oficina Q4 do CMASM durante a construção. Em detalhe, zona inerte, nova oficina e área existente antes da obra.

Além disso, painéis de baixa resistência e fáceis de explodir (painéis *blow-out*) foram dispostos em frente ao bocal do míssil, para a ejeção de gás em caso de ignição do motor do armamento. No caso de uma explosão, as estruturas frágeis do telhado e do painel *blow-out* permitiriam o escape dos gases, aliviando a pressão, o que evitaria que a estrutura de concreto armado colapsasse, podendo sofrer apenas distorções com limites previstos em projeto.

Além da nova oficina, foi construída uma área administrativa composta por banheiros, copa, biblioteca e sala de aula. Tal área, denominada zona inerte, também foi projetada para fornecer segurança ao pessoal em caso de detonação na célula pirotécnica. A zona inerte foi dimensionada com um *radier* de 50 cm de espessura e paredes de concreto armado de

mesma espessura. A Figura 2 apresenta a vista aérea da Oficina Q4, na qual é possível verificar a área existente e a ampliação, que conta com a nova oficina e a zona inerte.

PROJETO EXECUTIVO DE ESTRUTURAS

A elaboração do Projeto Executivo de estruturas foi um dos grandes desafios encontrados na obra. Não existem normas brasileiras que contemplem o assunto do dimensionamento de estruturas para resistir aos efeitos de uma detonação, uma vez que a maior parte da literatura trata dos efeitos causados nas estruturas após a explosão. Por isso, a norma americana UFC 3-340-02 foi utilizada como a principal referência para o cálculo das paredes de concreto armado.

Comportamento de uma explosão

Uma explosão pode ser definida como uma reação química na qual ocorre a liberação de uma grande quantidade de energia, com um súbito aumento de pressão e temperatura. Nela, são gerados gases de alta pressão que se expandem rapidamente, levando à propagação de onda, que é transmitida esféricamente através do meio. Junto com os gases produzidos, o ar ao redor da explosão também se expande, resultando na chamada "onda de choque", que se propaga em velocidade supersônica (KARLOS E SOLOMOS, 2013). A onda de choque é refletida quando encontra obstáculos e sua intensidade diminui à medida em que se movimenta para longe da fonte da explosão.

As explosões em estruturas podem ser divididas em dois grupos, com base no confinamento da carga (explosões não confinadas e confinadas). As explosões não confinadas dependem da posição relativa da fonte explosiva e da estrutura a ser protegida, sendo elas: explosões ao ar livre, explosões de ar e explosões de superfície (Figura 3). Já as confinadas se dividem em: totalmente ventiladas, parcialmente confinadas e totalmente confinadas (UFC, 2008).

A Figura 4 ilustra o comportamento idealizado da pressão em relação ao tempo, para o caso de uma explosão ao ar livre. A pressão ao redor do elemento é inicialmente igual à pressão ambiente e sofre um aumento instantâneo, até um pico de pressão. Após seu valor de pico, a pressão diminui exponencialmente até atingir a pressão ambiente, sendo esse tempo chamado de duração da fase positiva. Após a fase positiva, ocorre a fase negativa, na qual a pressão se torna menor do que o valor ambiente e, finalmente, retorna à pressão atmosférica. A fase negativa é mais longa que a positiva e, durante essa fase, as estruturas são submetidas à sucção. Porém, normalmente, a fase negativa não é levada em consideração para o projeto, pois se verificou que o principal dano estrutural está ligado à fase positiva (KARLOS E SOLOMOS, 2013).

Para descrever a resposta das estruturas à explosão, deve ser realizada uma análise de engenharia relativa à pressão da explosão, expressa em termos de faixas de projeto, de acordo com a sua intensidade, ou seja, alta e baixa pressão.

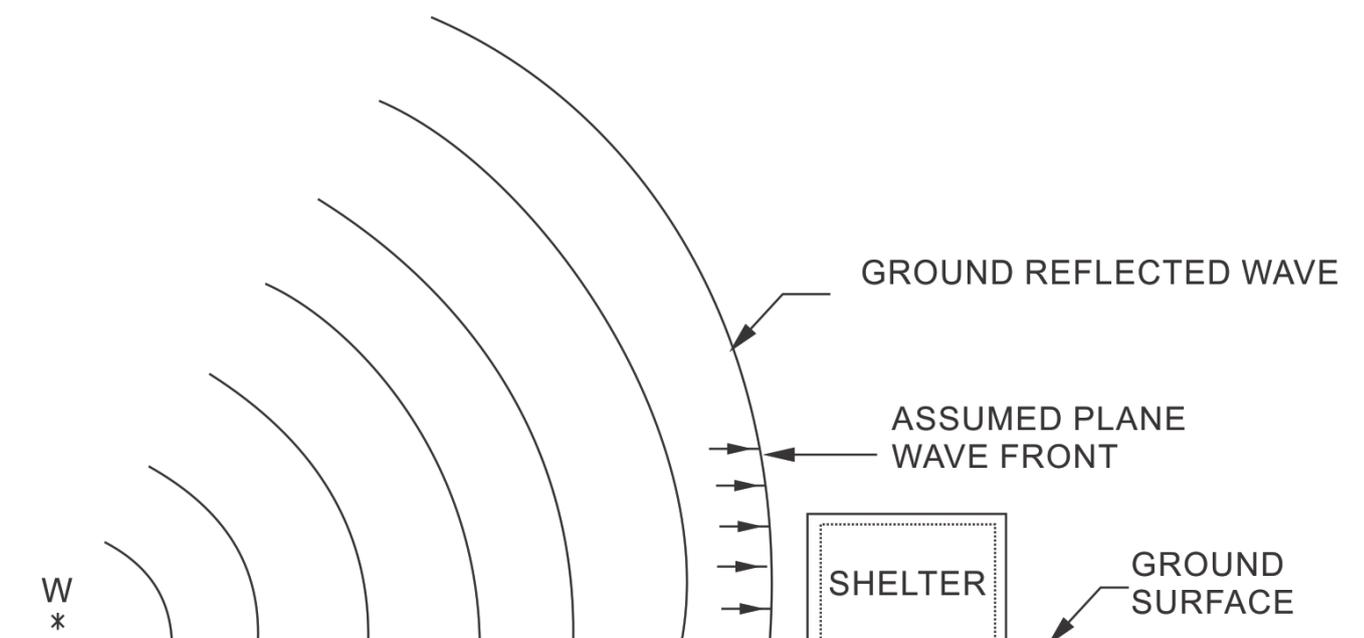


Figura 3 – Comportamento de uma explosão de superfície. Fonte: UFC, 2008.

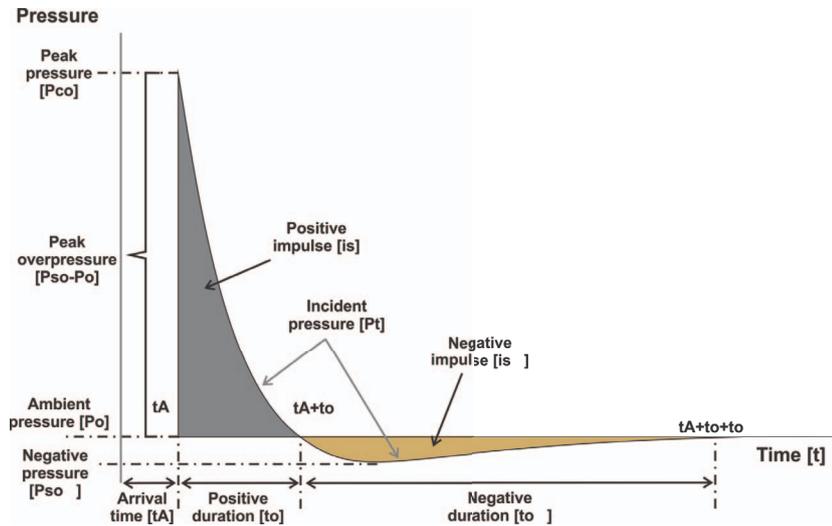


Figura 4 – Comportamento idealizado da pressão em relação ao tempo, para o caso de uma explosão ao ar livre. Fonte: KARLOS E SOLOMOS, 2013.

Parameters Defining Pressure Design Ranges

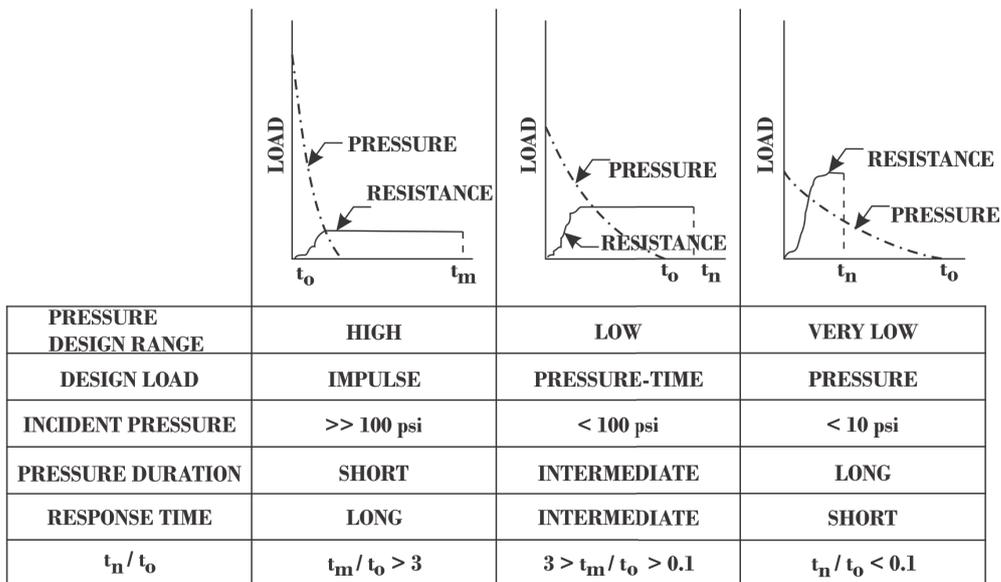


Figura 5 – Parâmetros que definem as faixas de projeto. Fonte: UFC, 2008.

Embora cada faixa seja distinta, não existem divisões claras entre elas. Portanto, cada estrutura deve ser analisada, para determinar sua resposta, que depende do projeto e da carga. Três projetos possíveis resultam em três respostas distintas de resistência-tempo: elemento que responde ao impulso, elemento que depende tanto da pressão quanto do impulso e elemento que responde à pressão. A Figura 5 indica os parâmetros que definem as faixas de projeto, juntamente com a relação aproximada entre o tempo para atingir a deflexão máxima e a duração da carga (UFC, 2008).

Dimensionamento da estrutura

Parâmetros como a carga de explosão, a distância da detonação para a superfície das paredes e a angulação máxima permitida para a deformação dos elementos estruturais foram as premissas do projeto.

Para iniciar o dimensionamento das paredes, foi preciso definir qual seria o tipo de carga atuante na estrutura no caso da explosão. Inicialmente, foi adotado o cálculo considerando-se o impulso refletido, conforme Figura 5. Ao final do dimensionamento, conhecendo-se o

valor do tempo de resistência, foi feita uma verificação para validar o procedimento adotado.

O impulso refletido e o tempo de duração da fase positiva foram obtidos por meio do ábaco de explosões de superfície, da norma do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, UFC 3-340-02 - *Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions*, considerando-se a estrutura como parcialmente confinada, uma vez que a mesma é composta por paredes robustas de concreto armado e estruturas frágeis, como o telhado, painel *blow-out* e os vidros das esquadrias.

O esquema estrutural adotado para o dimensionamento foi a parede em balanço engastada no *radier*; uma consideração conservadora, visto que alguns elementos conferem vínculos a mais, os quais não foram considerados no cálculo.

O cálculo da seção da parede foi feito de forma iterativa, introduzindo-se, inicialmente, uma taxa de armadura estimada, resultando em uma espessura de parede. Como o Projeto Básico determinava a espessura da parede, foi encontrado o valor da taxa de armadura que deveria ser utilizado para combater a flexão. Com o valor da espessura, foi possível calcular o tempo de resistência da estrutura e validar o modelo utilizado.

Por meio da taxa de armadura, chegou-se ao valor da área de aço a ser utilizada para as armaduras longitudinais e transversais. Tais armaduras são igualmente distribuídas nas duas faces da parede, sendo a primeira na direção vertical e a segunda na direção horizontal.

Apesar do dimensionamento diferenciado para as armaduras de flexão considerando as cargas pirotécnicas, o detalhamento da armadura é similar ao utilizado na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto. Entretanto, em comparação com a norma brasileira, a situação é diferente quando se trata do dimensionamento e detalhamento das armaduras de cisalhamento.

As detonações próximas à parede geram concentrações de pressão extremamente altas, que podem produzir falha local de um elemento. Para manter a integridade estrutural dos elementos sujeitos a cargas explosivas e permitir as grandes deflexões necessárias para equilibrar a energia cinética produzida pela explosão, foi desenvolvido o reforço de amarração helicoidal. As barras de flexão retas em cada face do elemento e o concreto intermediário são unidos pela ação das armaduras helicoidais (UFC, 2008).

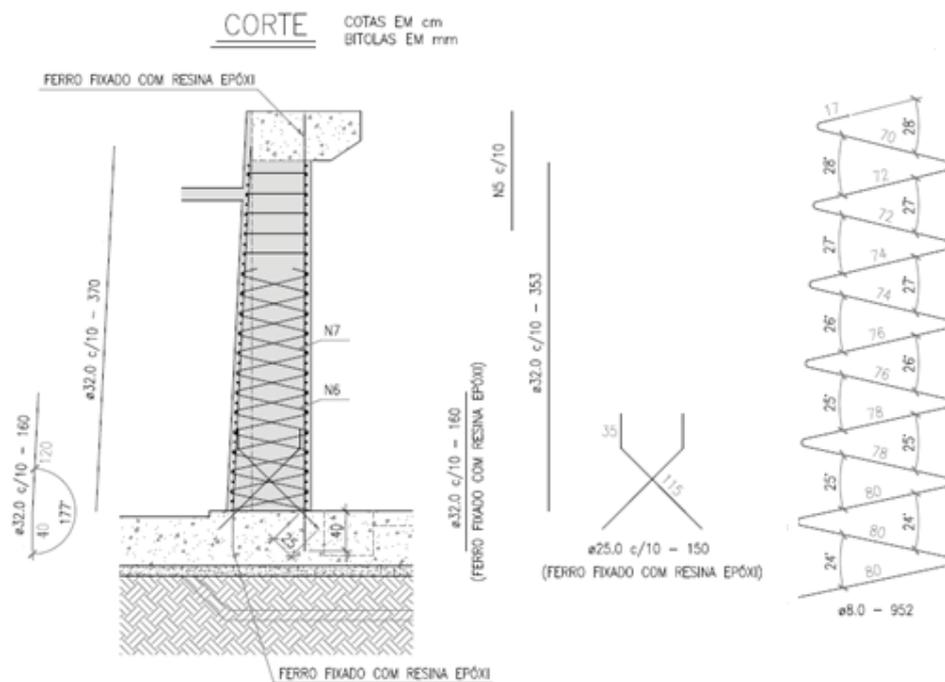


Figura 6 – Corte de uma parede de concreto armado da oficina, apresentado no Projeto Executivo de estruturas, incluindo os detalhes das barras helicoidais e diagonais.



Figura 7 – Saída dos caminhões-betoneira da embarcação após o término do serviço de concretagem.

Além da amarração helicoidal, barras diagonais são necessárias na base da parede para evitar ruptura por cisalhamento direto. Esta ruptura é caracterizada pela rápida propagação de uma trinca vertical, através da profundidade do elemento, geralmente localizada nos apoios onde ocorrem as tensões máximas de cisalhamento (UFC, 2008). A armadura diagonal consiste em barras inclinadas, a aproximadamente 45°, que se estendem desde a base do elemento até a lateral da parede, em ambos os lados, formando um “X”.

A Figura 6 apresenta a seção transversal de uma das paredes da oficina, na qual é possível verificar as armaduras utilizadas, inclusive as barras helicoidais e diagonais. Os dados encontrados para o dimensionamento à flexão, juntamente aos parâmetros iniciais, foram utilizados no cálculo da área de aço das barras helicoidais e diagonais.

É importante ressaltar que, devido à proximidade da carga explosiva com a parede e com o *radier*, foram encontradas altas taxas de armadura. Como exemplo, cita-se a utilização

de armaduras longitudinais de 32 mm de diâmetro, em duas paredes da oficina. Este diâmetro foi adotado, pois a utilização de uma bitola menor faria com que o espaçamento entre barras fosse inferior ao permitido por norma. Em termos de quantitativos, foram utilizadas 80,3 toneladas de aço na execução da estrutura, sendo 26,8 toneladas na fundação e 53,5 na superestrutura.

EXECUÇÃO DA ESTRUTURA

No que diz respeito à execução da estrutura, é importante citar alguns aspectos relevantes em relação às dificuldades logísticas encontradas para a construção em uma ilha e à dificuldade na obtenção de insumos na pandemia de COVID-19.

Por se tratar de uma ilha, a entrada dos materiais e equipamentos foi feita por meio de embarcações (Figura 7), sendo necessário conciliar o tempo de execução dos serviços com o intervalo de maré disponível para entrada e saída dos equipamentos. Por isso,



A



B

alguns serviços que possuíam um tempo de execução extenso só poderiam ser executados em determinados dias da semana, nos quais o intervalo de maré favorável era maior.

Em relação às dificuldades de obtenção de material, a situação mais crítica foi na aquisição das 80,3 toneladas de aço para a execução da estrutura. Os fornecedores do material não tinham a quantidade disponível para pronta entrega, principalmente em relação às barras de diâmetro de 32 mm, visto que essas armaduras são pouco utilizadas na construção civil. Além disso, toda a armação já deveria ser entregue cortada e dobrada, aumentando o prazo para entrega do material.

É importante ressaltar que as armaduras helicoidais tinham comprimentos diferentes em cada trecho inclinado, devido ao fato da parede ter espessura variável ao longo de sua altura, variando de 85 cm na base até 65 cm no topo da parede, conforme mostrado na Figura 6. Por isso, a execução das paredes foi dividida em fases compatíveis com o cronograma de entrega do aço na obra. A Figura 8 apresenta os detalhes da armação das paredes, com foco nas armaduras helicoidais e nas barras diagonais.

Em relação à execução da estrutura em si, a montagem das barras de aço foi executada com muita cautela, devido à grande quantidade de aço em cada seção da parede e à dificuldade de posicionamento das armaduras helicoidais e das barras diagonais. Já a concretagem foi realizada com o auxílio do mangote de lançamento (Figura 9) e de vibradores, de modo a evitar a formação de ninhos de concretagem. A concretagem de cada fase foi realizada junto à montagem das armaduras da fase subsequente.

Por fim, após a cura do concreto, foi realizada a desforma das paredes, finalizando a execução da estrutura e dando início às demais etapas, fundamentais para o término da obra. As Figuras 10 e 11 apresentam a vista do interior da oficina durante a execução da estruturas e após o término da obra, respectivamente.

Figura 8 – Detalhe da armação das paredes apresentando as armaduras helicoidais (A) e barras diagonais (B).



Figura 9 – Concretagem de uma parede da oficina com auxílio do mangote de lançamento.

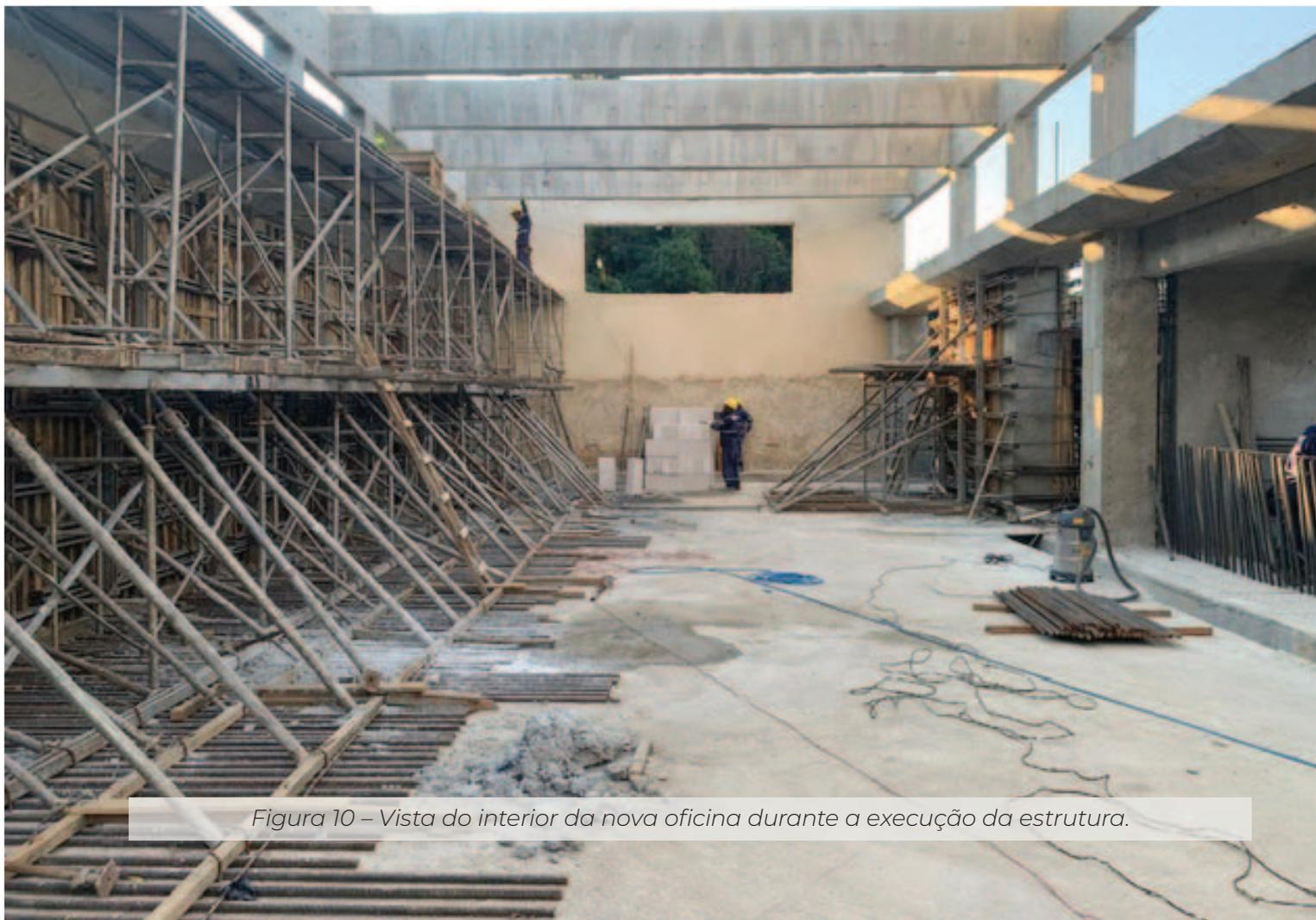


Figura 10 – Vista do interior da nova oficina durante a execução da estrutura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção da nova oficina de mísseis EXOCET, localizada no Centro de Mísseis e Armas Submarinas da Marinha, representou um grande desafio para a engenharia brasileira, uma vez que foram utilizados conceitos relativos ao dimensionamento de estruturas sob efeitos de cargas pirotécnicas, pouco conhecidos na construção civil do País.

A obra apresenta grande importância para a defesa nacional, pois contribuirá com o aprestamento da Força, possibilitando as condições de pronto emprego dos armamentos dos meios navais e aumentando a capacidade de

pronta resposta do País.

A Diretoria de Obras Civis da Marinha teve um papel fundamental para a entrega da oficina, sendo a responsável tanto pela elaboração do Projeto Básico, quanto pela Fiscalização Técnica da obra. Os problemas de engenharia encontrados ao longo da execução foram prontamente solucionados junto à Contratada, deixando as instalações em condições para o recebimento dos mísseis e seus equipamentos. A obra concedeu expertise aos engenheiros da Marinha do Brasil, que se mostraram tecnicamente preparados para este desafio.



Figura 11 – Vista do interior da nova oficina após o término da obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
2. KARLOS, Vasilis; SOLOMOS, George. Calculation of blast loads for application to structural components. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
3. UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC). UFC 3-340-02: Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions. Defense Department of the United States of America, 2008.

Autora

1T (EN) Fernanda Cristinna Alonso dos Santos

Engenheira Civil formada pela Universidade Federal Fluminense. Mestre pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em Estruturas.