

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**JOÃO LUIS ROLIM DE CASTRO SILVA**

**ASPECTOS DE PROJETO E DA METODOLOGIA CONSTRUTIVA DE  
DOLFIM DE AMARRAÇÃO: Um estudo de caso.**

São Luís  
2019

**JOÃO LUIS ROLIM DE CASTRO SILVA**

**ASPECTOS DE PROJETO E DA METODOLOGIA CONSTRUTIVA DE DOLFIM DE  
AMARRAÇÃO: Um estudo de caso.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira

São Luís

2019

Silva, João Luís Rolim de Castro.

Aspectos de projeto e da metodologia construtiva de dolfim de amarração: um estudo de caso / João Luís Rolim de Castro Silva. – São Luís, 2019.

97 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Me. Clodoaldo César Malniros Ferreira.

1.Dolfim de amarração. 2.Estacas escavadas. 3.Obra marítima. 4.Camisa metálica. I.Título

CDU: 627.33

JOÃO LUIS ROLIM DE CASTRO SILVA

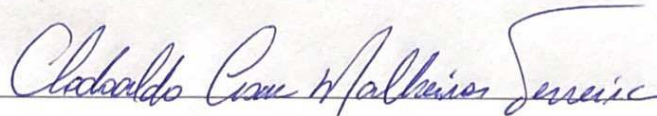
**ASPECTOS DE PROJETO E DA METODOLOGIA CONSTRUTIVA DE DOLFIM DE  
AMARRAÇÃO: Um estudo de caso.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

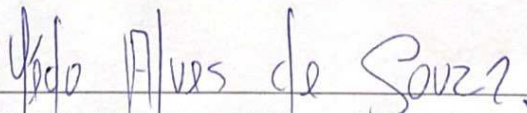
Orientador (a): Prof. Me. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira

Aprovado em: 02/07/2019

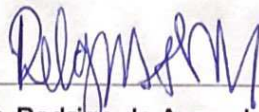
BANCA EXAMINADORA



**Prof. Me. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira** (Orientador)  
Universidade Estadual do Maranhão



**Prof. Dr. Iêdo Alves de Souza** (1º membro)  
Universidade Estadual do Maranhão



**Prof. Dr. Rodrigo de Azevedo Neves** (2º membro)  
Universidade Estadual do Maranhão

## RESUMO

O presente trabalho discorre sobre o projeto e a construção de um dolfim de amarração no berço norte do Píer III no Terminal Portuário Ponta da Madeira (TPPM), local de condições especiais de profundidade e correntes marítimas, o que demanda soluções específicas de engenharia. Portanto, serão abordados os aspectos adotados para o dimensionamento do dolfim, o qual contará com estacas escavadas em rocha, bem como características do local e as ações consideradas em projeto. Quanto à execução, será identificado o método construtivo escolhido e a sua aderência às normas e literatura. Por conseguinte, será detalhada a execução destacando as dificuldades encontradas em campo e melhorias identificadas ao processo.

**Palavras-chave:** Dolfim de amarração. Estacas Escavadas. Obra Marítima. Camisa metálica.

## **ABSTRACT**

The present work elucidates the design and construction of a mooring dolphin in the north berth of Pier III at the Ponta da Madeira Port Terminal (TPPM), a site of special depth conditions and sea currents, which demands specific engineering solutions. Hence, this study will explain the features adopted for the dimensioning of the dolphin, which will have piles excavated in rock, as well as characteristics of the place and the loads considered in the design. Regarding the execution, the chosen construction method and its adherence to norms and literature will be identified. Consequently, the construction will be detailed highlighting the difficulties encountered in the field and identified improvements to the process.

**Key words:** Mooring dolphin. Excavated Piles. Maritime Works. Metallic Envelopment.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e as oportunidades nela concedidas. Em segundo a minha família, pai José Luis da Silva, mãe Maxmira Maria Rolim de Castro Silva, irmão André Luis Rolim de Castro Silva e aos primos, primas, tios, tias e avós, sem os quais esse momento não teria sido possível, pois sempre estiverem presentes, sendo suporte e fontes de amor.

Em terceiro, aos amigos (Nicolas Mota, Thaís Torres, Vanessa Bessa, Igor Vinícius, Klailson Cutrim, Lucas Vasconcelos, Raissa Catossi, Daniel Nogueira, Guilherme Teles, Glauber Fernando, Marcos Henrique, Lucas Ayres e outros) que me acompanham nessa trajetória acadêmica desde o princípio na Universidade Estadual do Maranhão e até mesmo antes dela, pela amizade, pelos bons momentos e pela colaboração acadêmica e profissional.

Por último, agradecer à Universidade Estadual do Maranhão, à Universidade de Alberta, à empresa Vale, e a todos os professores e funcionários que proporcionaram os conhecimentos necessários para o alcance desta meta que é a graduação e para a vida profissional que se inicia.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Tipos de estacas.....	20
<b>Tabela 2:</b> Parâmetros de dimensionamento de estacas e tubulões de concreto. ....	21
<b>Tabela 3:</b> Resumo de carregamentos aplicados à estrutura .....	35
<b>Tabela 4:</b> Resumo dos carregamentos dos guinchos .....	38
<b>Tabela 5:</b> Combinações de carregamento.....	44
<b>Tabela 6:</b> Esforços no topo das estacas (cota 0,0 m) .....	45
<b>Tabela 7:</b> Esforços no início do pino escavado (cota 30,0m) .....	45
<b>Tabela 8:</b> Esforços agindo na balsa.....	52
<b>Tabela 9:</b> Lista de Equipamentos necessários para o fundeio da balsa.....	54



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> Dolphins de atracação e amarração no terminal da JGSOC (Navios de 54,000 – 150,000 DWT) .....	16
<b>Figura 2:</b> Esquema convencional de terminal de carga a granel .....	18
<b>Figura 3:</b> Representação da capacidade resistiva da estaca á esforço vertical .....	19
<b>Figura 4:</b> Modelo estrutural do dolfim no software SAP 2000 .....	25
<b>Figura 5:</b> Representação dos equipamentos locados no dolfim .....	26
<b>Figura 6:</b> Plano de amarração do Berço Norte do Píer III após a construção do dolfim .....	26
<b>Figura 7:</b> Localização da área a ser construída em relação à Ilha de Upaon-Açu. ....	27
<b>Figura 8:</b> Local de implantação do dolfim.....	28
<b>Figura 9:</b> Planta de locação das estacas do Píer III.....	29
<b>Figura 10:</b> Perfis Geológicos dos cortes, respectivamente, AA e BB .....	29
<b>Figura 11:</b> Esquema posição do dolfim no de desenho de batimetria .....	30
<b>Figura 12:</b> Carregamento do peso próprio aplicado ao modelo .....	33
<b>Figura 13:</b> Representação do carregamento de sobrecarga.....	33
<b>Figura 14:</b> Angulação máxima vertical dos cabos de amarração .....	34
<b>Figura 15:</b> Ângulo das amarras no gancho .....	35
<b>Figura 16:</b> Gancho - Caso 1 e Caso 3 de Amarração respectivamente.....	36
<b>Figura 17:</b> Gancho - Caso 2 de Amarração.....	36
<b>Figura 18:</b> Gancho - Caso 4 de Amarração .....	36
<b>Figura 19:</b> Ângulos das amarras nos guinchos .....	37
<b>Figura 20:</b> Guinchos - Caso 1 e Caso 3 de Amarração, respectivamente. ....	38
<b>Figura 21:</b> Guinchos - Caso 2 de Amarração .....	38
<b>Figura 22:</b> Guinchos - Caso 4 de Amarração .....	39
<b>Figura 23:</b> Corrente na direção longitudinal (X), positiva e negativa, respectivamente. ....	40
<b>Figura 24:</b> Corrente na direção transversal (Y), positiva e negativa, respectivamente. ....	40
<b>Figura 25:</b> Carregamento do vento na direção “X” sentido positivo em operação e tormenta respectivamente.....	41
<b>Figura 26:</b> Carregamento vento na direção “y” sentido positivo em operação e tormenta respectivamente .....	42
<b>Figura 27:</b> Carregamento do empuxo da água.....	43
<b>Figura 28:</b> Representação da estaca com embutimento na rocha.....	46
<b>Figura 29:</b> Representação dos esforços aplicados na estaca - Situação do Momento Máximo.....	47
<b>Figura 30:</b> Configuração da armadura da estaca, longitudinal e transversal .....	48
<b>Figura 31:</b> Vista lateral do dolfim com apresentação do terreno.....	49
<b>Figura 32:</b> Representação da armadura necessária para a 1º fase da plataforma.....	50
<b>Figura 33:</b> Representação do armadura necessária para a 2º e 3º fases da plataforma .....	51
<b>Figura 34:</b> Vista lateral da armadura da plataforma .....	51
<b>Figura 35:</b> Configuração de ancoragem e equipamentos na balsa.....	53
<b>Figura 36:</b> Representação do efeito da poita no solo.....	54
<b>Figura 37:</b> Colapso de estaca pré-moldada com juntas emendadas .....	56
<b>Figura 38:</b> Exemplo de estaca escavada em rocha – Ponte sobre o rio Orinoco .....	57

<b>Figura 39:</b> Bobina de chapa metálica e procedimento de soldagem interna e externa de camisa metálica .....	58
<b>Figura 40:</b> Representação dos “bambolês” conforme projeto e executado.....	59
<b>Figura 41:</b> Esquema tridimensional do modulo arranque da guia de cravação .....	60
<b>Figura 42:</b> Esquema tridimensional dos módulos típicos da guia de cravação.....	61
<b>Figura 43:</b> Representação das estacas e a ordem da montagem dos gabaritos.....	61
<b>Figura 44:</b> Representação da remoção de rochas com uso de clamshell .....	62
<b>Figura 45:</b> Mapa de reposicionamento das rochas .....	63
<b>Figura 46:</b> Representação do perfil de terreno esperado para a cravação das camisas .....	64
<b>Figura 47:</b> Detalhe de arrasamento da camisa metálica.....	65
<b>Figura 48:</b> Escavação com perfuratriz utilizando <i>air-lift</i> .....	66
<b>Figura 49:</b> Representação de concretagem com auxílio de tremonha e expurgo da água com impurezas.....	69
<b>Figura 50:</b> Etapas de Concretagem com uso da tremonha.....	70
<b>Figura 51:</b> Representação do corte da plataforma do dolfim, destaque para a hachura tracejada que representa a forma pré-moldada em concreto. ....	71
<b>Figura 52:</b> Planta baixa e formas dos capiteis pré-moldados.....	72
<b>Figura 53:</b> Área de apoio no molhe do Píer III (PEP 1).....	75
<b>Figura 54:</b> Vistas superior e frontal da balsa de apoio (canteiro avançado) .....	76
<b>Figura 55:</b> Lançamentos das poitas e vista aérea da balsa posicionada.....	77
<b>Figura 56:</b> Camisas metálicas aguardando transporte e na esteira de soldagem, conforme projeto 3250KP-C-22041 .....	77
<b>Figura 57:</b> Soldas de topo nas barras da “gaiola”, conforme projeto 3250KP-C- 51048 .....	78
<b>Figura 58:</b> “Bambolê” da estaca; Espaçador de concreto, raio de 8 cm; Olhal para içamento.....	79
<b>Figura 59:</b> Processo de instalação da treliça A na estrutura do Píer III .....	79
<b>Figura 60:</b> Montagem concluída dos módulos B1 e C .....	80
<b>Figura 61:</b> Remoção de pedras com uso do Clamshell e rochas removidas posicionadas no flutuante .....	81
<b>Figura 62:</b> Posicionamento da camisa na blasa TT XVIII .....	81
<b>Figura 63:</b> Olhais das camisas metálicas .....	82
<b>Figura 64:</b> Verticalização da camisa metálica e deslocamento para o gabarito .....	82
<b>Figura 65:</b> Travamento da camisa no gabarito e colaboradores retirando as pinças de içamento.....	83
<b>Figura 66:</b> Cravação da camisa com utilização do martelo vibratório .....	84
<b>Figura 67:</b> Içamento de trepano para desagregação de pedras sob a faca da camisa e o trépano de 7 ton .....	84
<b>Figura 68:</b> MONTAGEM DA PERFURATRIZ (1. Posicionamento da perfuratriz; 2. Instalação da broca; 3. Haste com espaçador; 4. Perfuratriz em funcionamento) ..	85
<b>Figura 69:</b> Perfuratriz Wirth durante escavação para estaca e “balde” para coleta de sedimentos do fundo.....	86
<b>Figura 70:</b> Instalação de Armadura .....	87
<b>Figura 71:</b> Concretagem da estaca E07.....	88
<b>Figura 72:</b> Realização da concretagem da estaca E07.....	89

<b>Figura 73:</b> Ensaio de abatimento e preparo de corpos de prova .....	89
<b>Figura 74:</b> Processo de remoção dos gabaritos.....	90
<b>Figura 75:</b> Capitéis aguardando transporte e após terem sido instalados .....	90
<b>Figura 76:</b> Locação das peças da pré-laje do dolfim.....	91
<b>Figura 77:</b> Montagem da armação da plataforma e vista das pré-lajes apoiadas nos capitéis .....	91

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. JUSTIFICATIVA.....	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1. Geral.....	14
3.2. Específicos .....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1. Portos.....	15
4.2. Dolfins.....	16
4.3. Estacas .....	18
4.3.1. Definição.....	18
4.3.2. Classificação.....	19
4.3.3. Estacas pré-moldadas x moldadas no solo .....	21
4.3.4. Estacas Escavadas .....	22
5. PROJETO .....	24
5.1. Caracterização do Projeto.....	24
5.2. Características do local.....	27
5.3. Perfil geotécnico do solo .....	28
5.4. Materiais Utilizados.....	30
5.5. Normas.....	31
5.6. Determinação dos esforços .....	32
5.6.1. Peso Próprio .....	33
5.6.2. Sobrecarga .....	33
5.6.3. Carregamento devido à amarração no gancho de desengate rápido .....	34
5.6.4. Carregamento devido à amarração no guincho .....	37
5.6.5. Carregamento devido à corrente .....	39
5.6.6. Carregamento devido ao vento .....	40
5.6.7. Empuxo da água.....	42
5.6.8. Temperatura e retração .....	43
5.7. Combinações de carregamentos .....	43
5.8. Dimensionamento.....	44
5.8.1. Dimensionamento das estacas.....	44
5.8.2. Dimensionamento da plataforma.....	48
5.9. Projeto de Fundeio da Balsa.....	52
6. MÉTODO CONSTRUTIVO .....	55
6.1. Fabricação das Camisas Metálicas e Armação das estacas .....	57
6.2. Cravação das camisas metálicas .....	60
6.3. Arrasamento do topo da camisa metálica.....	64
6.4. Execução de estaca escavada em rocha.....	65
6.5. Instalação da armadura.....	67
6.6. Concretagem submersa da estaca.....	67
6.7. Forma da plataforma do dolfim .....	71
6.8. Armadura e concretagem da plataforma dolfim .....	72

<b>7. EXECUÇÃO</b> .....	<b>72</b>
<b>7.1. Equipamentos Utilizados</b> .....	<b>72</b>
7.1.1. Remoção de Materiais da camada superficial (rochas):.....	73
7.1.2. Perfuração: .....	73
7.1.3. Injeção de argamassa: .....	73
7.1.4. Auxilio geral: .....	73
<b>7.2. Mobilização de equipamentos e construção do canteiro</b> .....	<b>74</b>
<b>7.3. Fundeio da balsa</b> .....	<b>76</b>
<b>7.4. Fabricação dos componentes pré-moldados</b> .....	<b>77</b>
<b>7.5. Fixação do gabarito metálico</b> .....	<b>79</b>
<b>7.6. Execução da Fundação – Estacas</b> .....	<b>80</b>
7.6.1. Inspeção do leito do mar e Remoção de obstáculos .....	80
7.6.2. Içamento de camisas metálicas.....	81
7.6.3. Cravação das camisas e escavação da rocha .....	83
7.6.4. Fixação de armaduras .....	86
7.6.5. Concretagem das estacas .....	87
<b>7.7. Execução da Superestrutura – Plataforma</b> .....	<b>90</b>
<b>8. DIFICULDADES ENCONTRADAS</b> .....	<b>92</b>
<b>9. LIÇÕES APRENDIDAS</b> .....	<b>93</b>
<b>10. CONCLUSÃO</b> .....	<b>94</b>
<b>11. REFERENCIAS</b> .....	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O porto, para Soares et al (2000),

É uma área, abrigada de ondas e correntes, localizada à beira de um oceano, mar, lago ou rio, destinado ao atracamento de barcos e navios, e com o pessoal e serviços necessários ao carregamento e descarregamento de carga e ao estoque temporário destas, bem como instalações para o movimento de pessoas e carga ao redor do setor portuário, e, em alguns casos, terminais especialmente designados para acomodação de passageiros.

Todavia, com o desenvolvimento da engenharia e novas tecnologias disponíveis, é possível ter terminais portuários desabrigados, isto é, expostos às condições de maré, bem como é o caso dos Piérs III e IV no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), em São Luís, MA.

Para os casos de píeres desabrigados, usualmente é necessário o uso de um sistema de amarração especial entre o píer e o navio para garantir a segurança do processo. Assim, no caso do Píer III, onde mesmo que já existisse um sistema de guinchos terraís, mas que ficavam com um ângulo quase que perpendicular (no plano horizontal) com o ponto de amarração no navio, foi necessário a construção de uma estrutura logo na adjacência píer. Tal estrutura é um Dolfim de Amarração, e a partir do mesmo é possível o lançamento de cabos em um ângulo de maior inclinação, assim, propositando uma maior componente horizontal para a distribuição dos esforços de resistência à maré.

Um dolfim é uma estrutura de concreto situada em local de maior profundidade que aflora à superfície e pode ter a função de atracar (dolfim de atracação) ou amarrar os navios (dolfim de amarração). Para tanto, é necessário que a estrutura seja robusta o suficiente para suportar a carga de amarração ou atracação que é na casa de centenas de toneladas. No caso das condições de maré do píer III, desabrigado, onde a profundidade do canal chega a superar os 24 metros de profundidade, e o pior fator é a variação de maré, o dolfim será de amarração, construído com estacas retas fincadas no leito rochoso, sendo robusto o suficiente para resistir a tais esforços.

## **2. JUSTIFICATIVA**

No cenário nacional e em especial no Maranhão, onde a presença do complexo portuário representa parcela considerável do desenvolvimento do estado, o estudo de estruturas portuárias é de fundamental importância quando da garantia da operação das atividades, quanto na expansão do próprio complexo.

Nesse âmbito, o dolfim de amarração a ser construído no Píer III, é uma estrutura capaz de ampliar a capacidade de amarração de navios de altíssima carga nas mais diferentes condições de maré. Assim, possibilitando uma maior desenvoltura no Terminal Portuário Ponta da Madeira, aumentando a capacidade de carga de navios.

Além de que, atualmente novas obras portuárias de grande porte vêm a ser instaladas na cidade, sendo os conhecimentos adquiridos nas obras do Píer III passíveis de transferência para tais, ou outros complexos portuários em outras localidades.

Outro viés para a importância de tais obras é a complexidade de sua construção. O dolfim é uma estrutura de concreto robusta, e será realizado por sobre condições especiais de maré, profundidade e qualidade do solo. Assim, torna o estudo de seu projeto ainda mais pertinente para o curso da Engenharia Civil e um conhecimento especial para a Universidade Estadual do Maranhão.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Geral**

Explicar e analisar o projeto do Dolfim de amarração em questão, determinando as variáveis envolvidas na sua concepção, e o método construtivo escolhido, especificando as particularidades e comprovar que foi mais adequado.

#### **3.2. Específicos**

- Estudo do projeto, determinando as variáveis estudadas em sua concepção e especificando de que forma cada influenciou no desempenho esperado do dolfim em questão;
- Especificar as diferenças entre as possíveis formas de estaqueamento do Dolfim e ressaltar as características e vantagens da forma escolhida;
- Sugerir possíveis melhorias e transferir as aprendizagens para obras similares, erros e acertos no momento do projeto e execução.



## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Portos**

Portos são obras primordiais no âmbito da movimentação de carga, pois o modal aquaviário é o que permite a maior eficiência quanto na movimentação de grandes cargas. Assim, o mesmo serve como elo na cadeia logística de movimentação de produtos fazendo com que as cargas vindas de outros modais de transporte sejam nele estocadas e movimentadas. Partindo desse critério, o conceito de porto, de acordo com Alfredini e Arasaki (2013) é relacionada a 5 (cinco) parâmetros:

- Primeiramente a condição de abrigo como primordial, pois o porto deve fornecer proteção às embarcações que nele acostam contra os fatores ambientais (ventos, ondas e correntes), de forma a permitir uma operação segura. Todavia, tal abrigo não necessariamente precisa ser um anteparo, mas sim uma condicionante às atividades de acostagem que podem ser garantidas com a utilização de cabos para amarração que reduzam os movimentos que a embarcação faria em relação à estrutura portuária.
- O segundo parâmetro são a profundidade e acessibilidade disponíveis na estrutura do porto ou canal de acesso, as quais devem ser compatíveis com as dimensões das embarcações que ali acostarão (calado, comprimento e boca).
- O terceiro e quarto são a área de retroporto e os acessos (terrestres, aquaviários e aeroviários). A área de retroporto é o espaço necessário destinado à movimentação e armazenagem das cargas e/ou passageiros.
- Por último o impacto ambiental gerado, nos meios físicos, biológicos e socioeconômicos. Podendo haver interdependência entre os meios atingidos. A operação portuária e as obras ali necessárias tendem a ser de um volume macro, o que requer um cuidado constante para com o meio ao redor.

O cumprimento dos parâmetros acima, agregados à uma correta operação e planejamento, garante o papel do porto como elo entre diferentes modais de transporte de cargas, escoando e/ou recebendo a produção ou pessoas. Todavia, é necessário

destacar que as características do porto podem ser garantidas pela natureza, ou produzidas artificialmente.

## 4.2. Dolphins

Dolphins são estruturas marítimas ou portuárias discretas, que desempenham função de amarração e/ou atracação de embarcações. São bastante frequentes em terminais de minérios, mas também são encontrados em terminais diversos e estaleiros (Alfredini & Arasaki, 2009).

Usualmente, para berços de carga a granel uma série de estruturas são utilizadas para garantir a atracação e/ou amarração de navios em detrimento a uma estrutura contínua de píer, pois os mesmos são mais eficientes na relação de custo benefício da edificação (Tsinker, 2003). Assim, os dolphins, são estruturas comumente construídas por laje de concreto armado apoiada sobre estacas metálicas ou em concreto armado ou protendido, são dotados de cabeços para a amarração de e/ou ganchos de liberação rápida, além de outros meios de amarrações para lidar com a ancoragem de um navio.

**Figura 1:** Dolphins de atracação e amarração no terminal da JGSOC (Navios de 54,000 – 150,000 DWT)



Fonte: Site da RIOFIL CORPORATION, 2019.

Os dolphins de atracação suportam sistemas de defensas de acostamento e comumente são equipados com cabos de amarração. Quanto à disposição dos dolphins,

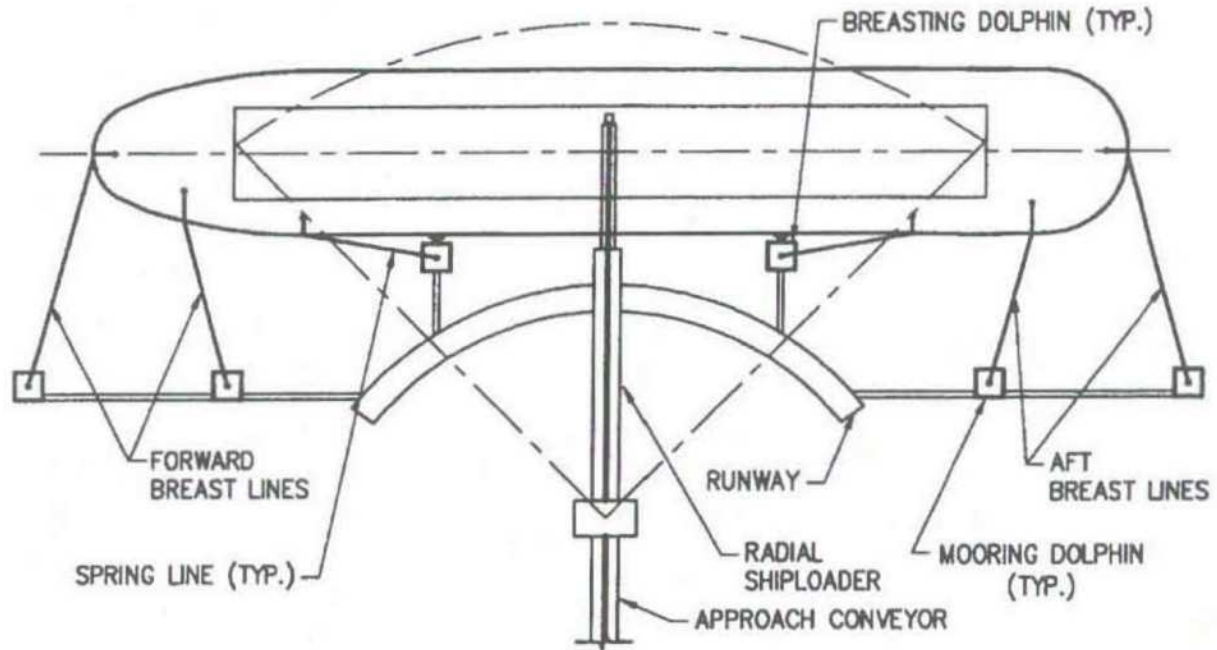
usualmente eles estarão simetricamente em relação ao centro da plataforma de carregamento, com um espaçamento estimado em um terço do comprimento total (LOA – Length Overall) da embarcação tipo. Quanto ao tipo de estrutura, podem ser rígidas ou flexíveis, as primeiras apresentarão pequena deflexão no momento da atracação, sendo a energia cinética absorvida pelas defensas. Já as segundas, tanto o dolfim quanto o sistema de defensas defletem absorvendo o impacto, assim, necessitando de defensas substancialmente menores (Tsinker, 2003).

Os dolfins de amarração são estruturas rígidas que suportam os esforços dos cabos que ligam a estrutura ao navio (guinchos e ganchos). É comum o uso de estacas inclinadas na construção dos dolfins de amarração, para garantir uma componente de resistência no sentido horizontal, mas condições específicas, como engastamento das estacas no leito rochoso, permitem que as mesmas dispostas na vertical. O OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) define os seguintes princípios para a amarração (Tsinker, 2003):

- Os cabos de amarração devem ser dispostos o mais simetricamente possível em relação ao ponto de médio da embarcação;
- O ângulo vertical dos cabos de amarração deve ser mantido ao mínimo;
- As linhas de amarração devem ser compostas do mesmo material e ser do mesmo tamanho, especialmente se realizam o mesmo serviço;
- Os cabos de Breast devem ser dispostos o mais perpendicular possível em relação ao eixo longitudinal central da embarcação;
- Os cabos de Spring devem ser dispostos o mais paralelo possível em relação ao eixo longitudinal central da embarcação.

A figura 2 destaca os componentes de um terminal de carga de minério convencional, onde a plataforma de carregamento é fixa, evidência para o posicionamento dos dolfins de amarração (*mooring*) e atracação (*breasting*).

**Figura 2:** Esquema convencional de terminal de carga a granel



Fonte: TSINKER, 2003.

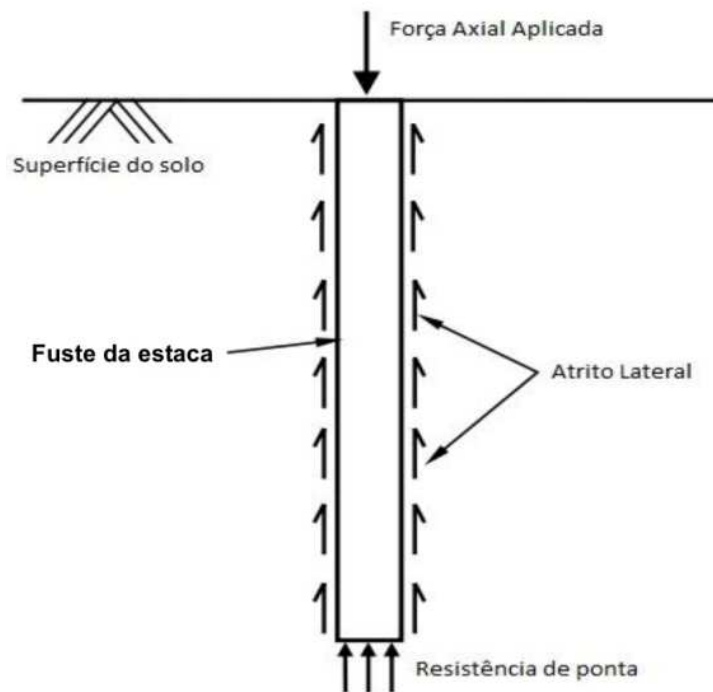
A Figura 2 apresenta o esquema convencional de terminal de carga a granel. Onde: *FORWARD BREAST LINES* são os Lançantes de proa e Través de Proa; *AFT BREAST LINES* são os Través de popa e Lançantes de popa; *BREASTING DOLPHIN* é a nomenclatura em inglês de dolphin de Atracação; *MOORING DOLPHIN* representa Dolphin de Amarração.

### 4.3. Estacas

#### 4.3.1. Definição

De acordo com Caputo (1987, p.260) “estacas são peças alongadas, cilíndricas ou prismáticas, que se cravam ou se confeccionam no solo” podendo ter utilizações de transmissão de carga às camadas profundas do terreno, ou contenção dos empuxos (terra ou água), ou até mesmo compactação de terrenos. O tipo mais comum de estaca são as que recebem esforços axiais de compressão, e os dissipam tanto pelo atrito lateral contra o solo, como pela ponta da estaca e a reação do terreno, conforme representado na figura 3.

**Figura 3:** Representação da capacidade resistiva da estaca á esforço vertical



Fonte: Adaptação de SALGAGO (2008, apud Estivalett, 2016).

Ressaltar que as estacas das estruturas do dolfim transmitem os esforços para o leito rochoso do terreno, e tais esforços serão dissipados por ambos, *resistência de atrito lateral e de ponta*.

#### **4.3.2. Classificação**

Quanto ao material de fabricação, as estacas podem ser de madeira, aço, concreto ou mistas (combinando dois ou mais materiais). As estacas em concreto se encaixam em duas modalidades, pré-moldadas ou moldadas *in situ*. As estacas pré-moldadas, de acordo com a NBR 6122/2010, são compostas de segmentos de concreto pré-fabricado que será injetado no solo com o uso de “martelo”, que pode ser vibratório, hidráulico, de gravidade, de explosão. Já as estacas moldadas *in loco* são executadas por preenchimento de um furo pré-realizado no terreno com concreto ou argamassa, podendo se classificar em (Caputo, 1987):

- Estaca Strauss;

- Estaca Franki;
- Estaca escavada;
- Estaca-diafragma;
- Estaca corrugada;
- Microestacas.

Outro viés para a classificação das estacas é apresentado por Velloso (2010, pg. 181) em que o fator diferencial é a transformação imprimida ao solo no momento da sua execução. Inicialmente, as “de deslocamento”, nas quais o solo sofre deslocamento na horizontal em decorrência dos esforços de cravação da estaca. Segundo, as “de substituição”, onde o solo é removido para preenchimento com o material da estaca, gerando nesse intervalo tensões geostáticas horizontais, é nessa categoria em que se encontram as estacas escavadas de maneira generalista. Todavia, algumas estacas escavadas (por exemplo, a estaca raiz) se encontram na categoria “sem deslocamento”, pois no procedimento executivo o solo removido é mínimo e/ou o as tensões geostáticas são reestabelecidas, total ou parcialmente. O resumo de tal classificação se encontra na tabela 1.

**Tabela 1:** Tipos de estacas

<b>Tipo de execução</b>	<b>Estacas</b>
De deslocamento	Grande (i) Madeira, (ii) pré-moldadas de concreto, (iii) tubos de aço de ponta fechada, (iv) tipo Franki, (v) microestacas injetadas
	Pequeno (i) Perfis de aço, (ii) tubos de aço de ponta aberta (desde que não haja embuchamento na cravação), (iii) estacas hélice especiais (“estacas hélice de deslocamento”)
Sem deslocamento	(i) Escavadas com revestimento metálico perdido que avança à frente da escavação, (ii) estacas raiz
De substituição	(i) Escavadas sem revestimento ou com uso de lama, (ii) tipo Strauss, (iii) estacas hélice contínua em geral

Fonte: VELLOSO, 2010, p. 181.

O caso em estudo são estacas em concreto, fabricadas *in situ* do tipo escavadas com revestimento metálico perdido. As quais são caracterizadas pelo procedimento de primeiramente perfurar o solo e retirar os materiais, para em seguida ser realizada a concretagem, no caso do dolfim, concretagem submersa. Tais estacas podem ter diâmetros de até 2,5 m e chegar a profundidades maiores que 40 m, assim são passíveis de substituir os tubulões de ar comprimido (Caputo, 1987).

#### 4.3.3. Estacas pré-moldadas x moldadas no solo

A diferenciação de estacas pré-moldadas e moldadas no solo vai além do método construtivo, pois também gera implicações no momento do projeto, por ter diferenças na resistência a ser considerada por norma (conforme a tabela 2); na logística da obra, por demandar manipulação e estocagens diferenciadas; e econômicos, por diferenças no valor de cada e materiais disponíveis na proximidade da obra.

**Tabela 2:** Parâmetros de dimensionamento de estacas e tubulões de concreto.

Tipo de estaca / tubulão	$f_{ck}$ máx. de projeto <sup>5</sup> (MPa)	Coeficientes para dimensionamento			Armadura		Tensão média atuante, abaixo da qual não é necessário armar (MPa)
		$\gamma_f^6$	$\gamma_c$	$\gamma_s$	% mínima	Comprimento mínimo (m)	
Pré-moldada de concreto	40	1,4	1,4	1,15	0,5 <sup>1</sup>	Armadura integral	—
Hélice <sup>2</sup>	20	1,4	1,8	1,15	0,5	4	6,0
Escavada sem fluido	15	1,4	1,8	1,15	0,5	2	5,0
Escavada com fluido	20	1,4	1,8	1,15	0,5	4	6,0
Strauss <sup>3</sup>	15	1,4	1,8	1,15	0,5	2	5,0
Franki <sup>3</sup>	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	—
Raiz e microestacas <sup>3,4</sup>	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	—
Trado vazado segmentado	20	1,4	1,8	1,15	0,5	Armadura integral	—
Tubulões não encamisados	15	1,4	1,8	1,15	0,5	3	5,0

Fonte: VELLOSO, 2010, p. 202.

Primeiramente a maior vantagem das estacas pré-moldadas é a qualidade do concreto obtido, já que, por ser fabricado em ambiente controlado não sofre com as

intempéries e agentes agressivos do solo nos momentos de pega e cura. Em segundo, a capacidade de superar camadas muito moles de solo, com segurança, é maior para as estacas pré-fabricadas, uma vez que as moldadas *in loco* podem apresentar problemas (VELLOSO, 2010, p. 198).

Todavia, as estacas moldadas no solo apresentam uma maior flexibilidade quanto a imprevistos encontrados no terreno, permitindo que a concretagem seja realizada para o comprimento preciso necessário. Enquanto que as estacas pré-moldadas carecem de ter o seu comprimento previamente calculado de forma precisa, a fim de evitar alterações de corte ou emenda que acarretam prejuízos econômicos na obra. Entretanto, realçar que a qualidade de estacas moldadas *in loco* depende mais da equipe executora do que as pré-moldadas, uma vez que o ambiente da fábrica pode seguir padrões controlados (VELLOSO, 2010, p. 204).

Vale destacar as dificuldades que as estacas pré-moldadas apresentam nos momentos de manipulação e cravação, uma vez que fissuras podem ocorrer nas situações de manuseio da estaca para o canteiro de obras e içamentos para carga e descarga, ou para cravação. Assim, no momento do dimensionamento da estrutura são considerados os esforços de projeto (compressão, tração, esforços horizontais e momentos) e os de manipulação e cravação (VELLOSO, 2010, p. 198). Porquanto, segundo Caputo (1987, p. 265) o consumo de ferro nas estacas pré-moldadas tende a ser consideravelmente maior, uma vez que também são dimensionadas para os impactos da cravação e transporte.

#### **4.3.4. Estacas Escavadas**

De acordo com Velloso (2010, p. 2012), são denominadas estacas escavadas aquelas onde há remoção de material do solo por meio de escavação ou perfuração, em que o furo posteriormente será preenchido por concreto. Ainda segundo Velloso, existem critérios quanto ao suporte ou não das escavações, no primeiro caso pode ser feito com revestimento recuperável ou perdido, ou por uso de fluido estabilizante (usualmente lama bentonítica). Destacar que as escavações não suportadas somente são admitidas em terrenos argilosos acima do lençol freático.

Dentre as vantagens das estacas escavadas (VELLOSO, 2010), destacam-se:



- As elevadas cargas admissíveis, superando 10.000 kN;
- O fato de não ocorrerem grandes perturbações ou vibrações durante a instalação, não causando prejuízo ou dano para edificações próximas, permite que sejam executadas em zonas urbanas;
  - Durante o processo de escavação são removidas amostras do material do terreno, permitindo que se conheça o perfil do solo escavado;
  - Adaptabilidade às variações do terreno.

Entretanto, existem certos fatores que precisam ser contornados para a execução de estacas escavadas. A notar a dificuldade para manter o canteiro de obras, vez que é necessária à mobilização de equipamentos específicos (perfuratriz, guindaste, martelo vibratório, *clamshell*). Além da necessidade de grandes volumes de concreto em pequeno intervalo de tempo, afim de que a concretagem ocorra com mínimas interrupções, de modo a não ocasionar juntas frias na estrutura.

## 5. PROJETO

### 5.1. Caracterização do Projeto

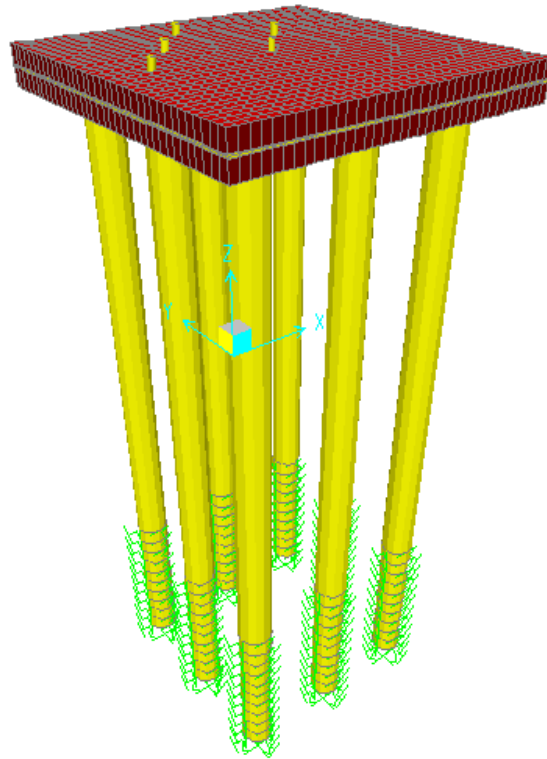
Atualmente a restrição de atracação de navios, no berço norte do Píer III, para navios da classe *Capesize* (180.000 DWT), é até marés de (4,0+0,5) m. Com objetivo de abolir essa restrição na operação do Píer será construído um novo dolfim, que possibilitará a amarração segura de navios da classe *Capesize* em marés de amplitude até 6m. Assim, o porto terá maior eficiência no carregamento de navios, pois o poderá fazer durante uma janela de tempo maior e com ganho em segurança.

A concepção do dolfim de amarração como solução às restrições na operação se dá pelo fato de o mesmo causar um mínimo impacto nos planos de amarração dos demais berços, e, por ser uma obra hidrodinamicamente transparente, pois a interferência com o fluxo da maré e sedimentos da região é desprezível (Alfredini e Arasaki, 2013, p. 685).

A solução convencional para dolfins é a adoção de estacas inclinadas para combate dos esforços na horizontal. Todavia, por conta das condições do mar local e por prazo de execução limitado, serão adotadas somente estacas verticais escavas nas rochas. Além de que, obras similares foram realizadas no Berço Sul do Píer IV do TPPM, onde o método se mostrou prático e eficiente.

A estrutura do dolfim será composta de um bloco monolítico de concreto armado de 17,4 m x 18,0 m e 2,0 metros de altura a ser concretado “*in situ*”. Tal bloco estará sobre 8 (oito) estacas circulares de concreto com camisa metálica perdida de 200 mm de diâmetro e 10 mm de espessura (12,5 mm na extremidade reforçada). Na extremidade da estaca que toca o leito rochoso serão executados pinos de concreto escavados na rocha de 10,0 m de profundidade e com diâmetro de 190 mm. Resultando em um dolfim flexível de dimensões, esforços e solução estrutural incomuns, de acordo com cenário de obras apresentado por Alfredini e Arasaki (2013, p .695). Um modelo virtual da estrutura do dolfim se encontra na figura 4.

**Figura 4:** Modelo estrutural do dolfim no software SAP 2000

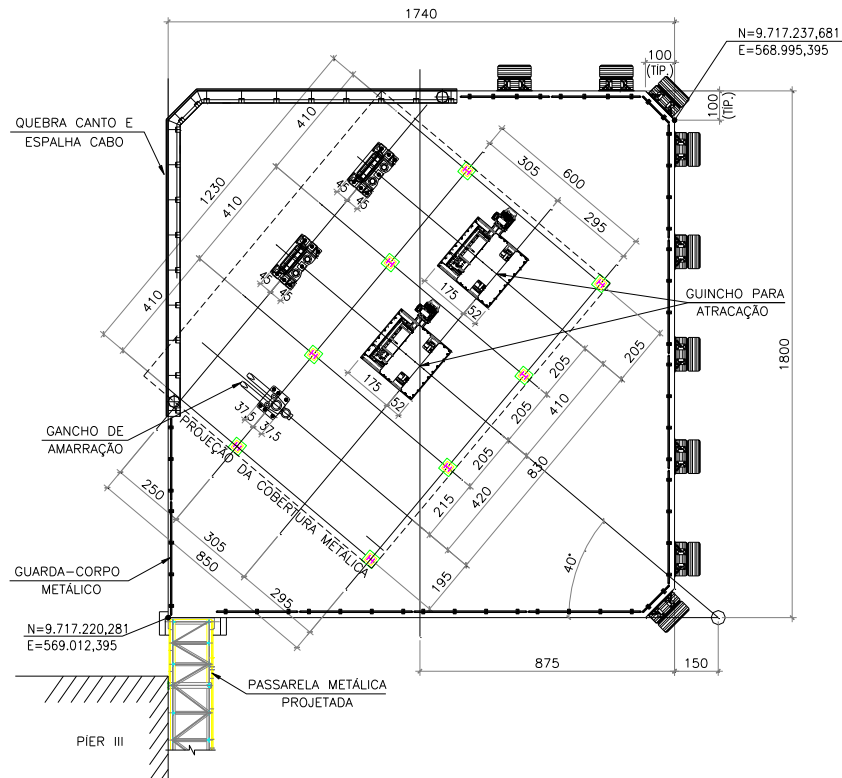


Fonte: Arquivo do projeto (VALE, 2017).

Sobre o dolfim serão instalados 2 (dois) guinchos com capacidade de 1000 kN de tração cada e 1 (um) gato de desengate rápido duplo com capacidade de 2000 kN (cada unha com 1000 kN) totalizando 4000 kN de tração ao todo na estrutura.

Em adição será construída uma passarela metálica que ligará o dolfim ao Píer III, a mesma será fixada por chumbadores no píer.

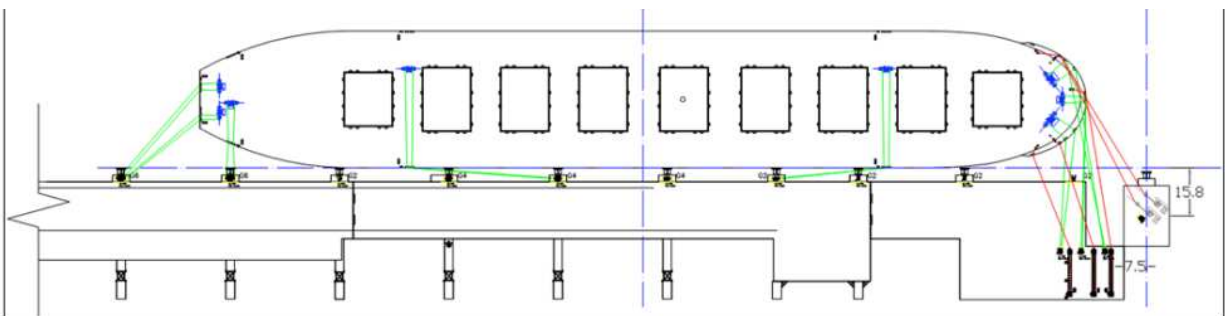
**Figura 5:** Representação dos equipamentos locados no dolfim



Fonte: Projeto VALE, 2017.

Quanto à possibilidade de restrição da operação do Píer III durante o processo de construção, não será alterada neste momento, pois os guinchos de terra serão mantidos. Assim, a segurança garantida com os cabos que partem do dolfim é adicional à existente no local atualmente.

**Figura 6:** Plano de amarração do Berço Norte do Píer III após a construção do dolfim



Fonte: VALE, 2018.

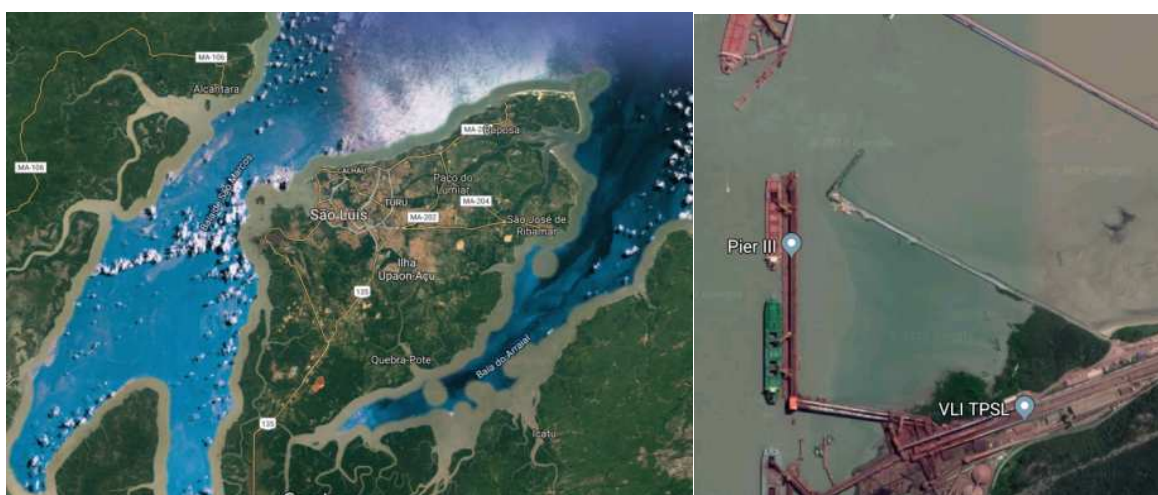
A Figura 6 apresenta o Plano de amarração do Berço Norte do Píer III após a

construção do dolfim, destacando em vermelho os acréscimos.

## 5.2. Características do local

A área projetada para instalação do Dolfim de amarração é localizada na extremidade do Berço Norte do Píer III do Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM), de propriedade da VALE S/A, localizado em São Luís e defronte à Baía de São Marcos, no Maranhão, norte do Brasil (Figura 7).

**Figura 7:** Localização da área a ser construída em relação à Ilha de Upaon-Açu.



Fonte: GoogleEarth (2019)

A Baía de São Marcos possuía área superior a 70.000 km<sup>2</sup> e pertence ao Golfão Maranhense. A hidrodinâmica da baía é regida por um “sistema de marés semi-diurnas (duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar com intervalos proporcionais de cerca de 6h), com amplitude média de 4,6m, podendo atingir 7,2m quando das grandes sizígias” (Portobrás, 1988 apud BRISSAC, 2012, p.16). Todavia, em 75% do tempo, as amplitudes de maré são inferiores a 5,5m, de acordo com a tábua de marés.

**Figura 8:** Local de implantação do dolfin



Fonte: VALE, 2018.

Para primeiro caracterizar a área do Pier III em São Luís, MA, deve se ter os parâmetros do local considerados para a concepção do projeto de acordo com preceitos estipulados no livro de Alfredini e Arasaki (2013), que são:

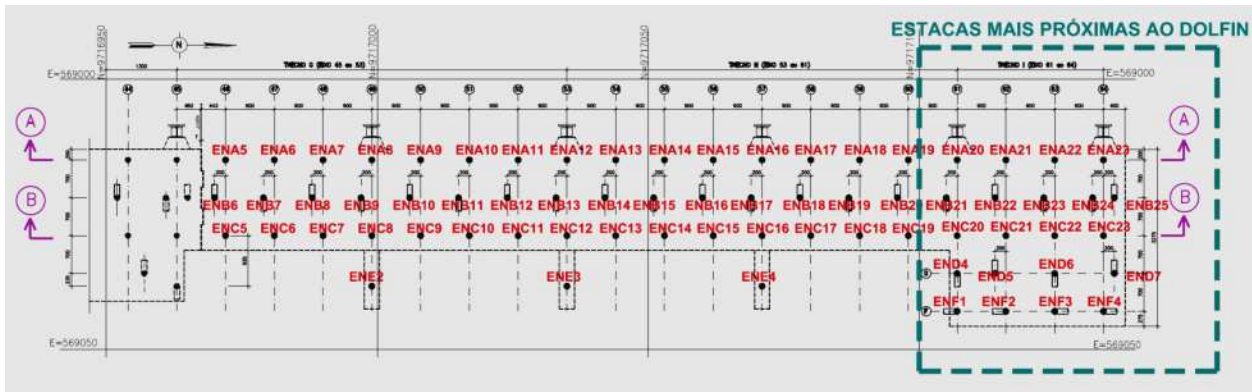
- Características topobatimétricas;
- Condições do solo;
- (...) Empuxos de terra e a capacidade de carga do leito de fundação;
- Análise de possíveis recalques de estruturas;
- Metodologias e custos de dragagem;
- Escavações e estaqueamento;
- Níveis do mar e agitação ondulatória;
- Condições climáticas;
- Corrosividade pelo solo e/ou água e/ou ataque ácido de micro-organismos sobre os materiais de construção (“...), exigindo pintura especial.

Somente após a determinação de tais parâmetros pode-se dimensionar as estruturas para os esforços encontrados.

### **5.3. Perfil geotécnico do solo**

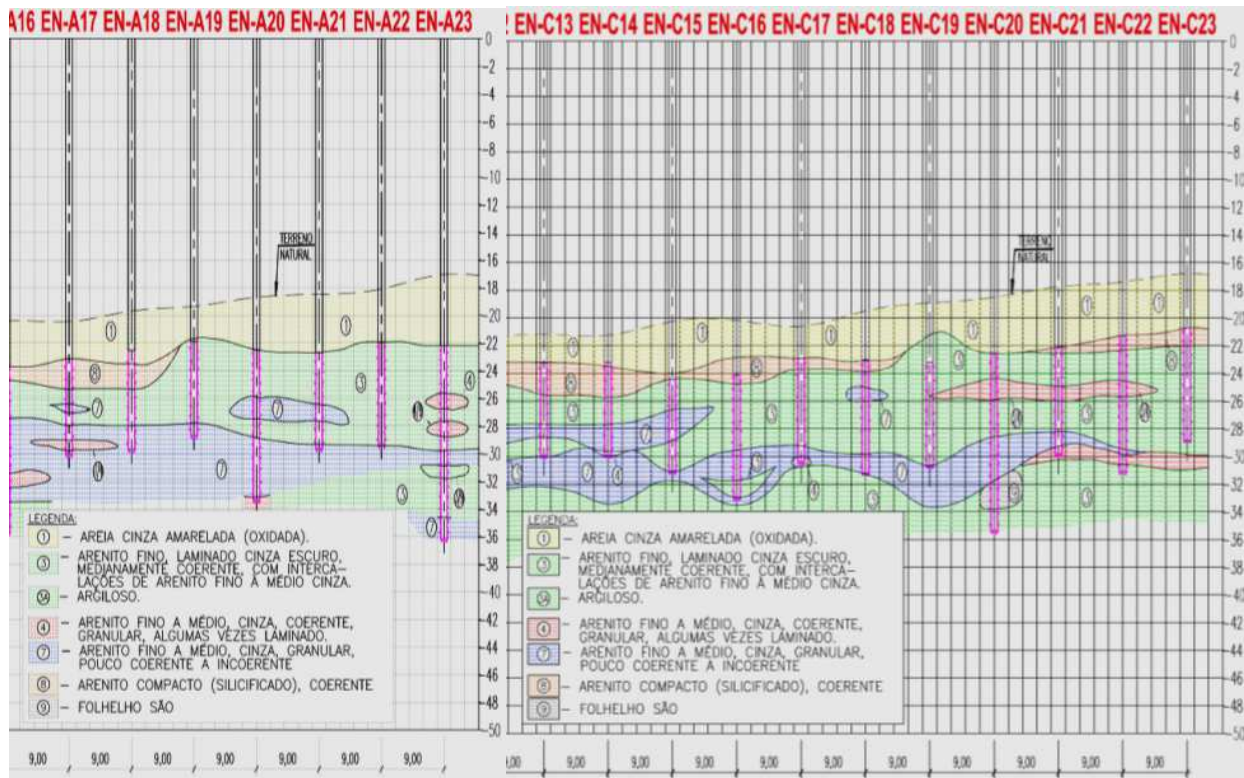
Para a caracterização do solo da região foi considerado o perfil geotécnico concebido na execução das estacas do Pier III, na parte próxima ao novo dolfin. O qual constata uma camada de areia fina com espessura média de 4 metros, sobre uma camada de arenito fino medianamente coerente a incoerente.

**Figura 9:** Planta de localização das estacas do Píer III



Fonte: Arquivo da obra de ampliação do Píer III (VALE, 2017).

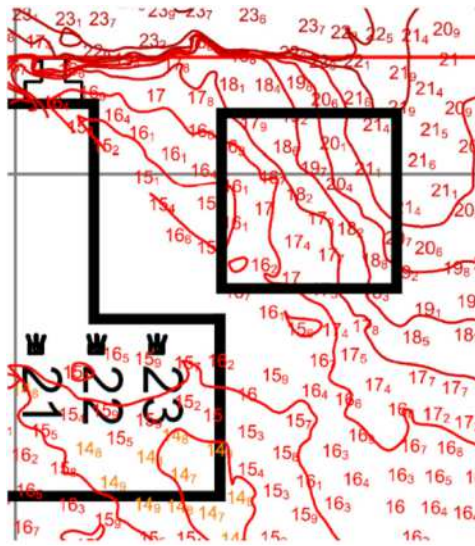
**Figura 10:** Perfis Geológicos dos cortes, respectivamente, AA e BB



Fonte: Arquivo da obra de ampliação do Píer III (VALE, 2017).

A batimetria constatou que a profundidade do leito do mar na área do dolfim supera em média 18 metros (Figura 11), similar ao perfil geológico encontrado nas perfurações das estacas.

**Figura 11:** Esquema posição do dolfim no de desenho de batimetria



Fonte: VALE, 2018.

Contudo, vale destacar que a camada superior de areia varia com os efeitos dos agentes morfodinâmicos costeiros, como ondas, correntes, marés e ventos. Portanto, a contribuição da camada de areia não foi considerada nos cálculos da capacidade de carga da estaca.

#### 5.4. Materiais Utilizados

- Concreto pré-moldado, “in loco” e preenchimento das camisas metálicas:
    - $F_{ck} \geq 40 \text{ Mpa} = 4000 \text{ tf/m}^2$  (resistência característica à compressão);
    - Elasticidade =  $32 \text{ GPa} = 32,0 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$  (módulo de elasticidade secante);
    - $\alpha = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$  (coeficiente de dilatação longitudinal);
    - $\gamma_c = 1,4$  (coeficiente de minoração da resistência do concreto);
    - Cobrimento = 5 cm.
  - Concreto das estacas escavadas:
    - $F_{ck} \geq 40 \text{ Mpa} = 4000 \text{ tf/m}^2$  (resistência característica à compressão);
- \* Para o dimensionamento estrutural a resistência considerada para a estaca foi de  $20 \text{ Mpa} = 2000 \text{ tf/m}^2$ . Conforme determina a NBR 6122 de 2010 (Tabela 2).
- Elasticidade =  $21 \text{ GPa} = 21,0 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$  (módulo de elasticidade secante);



- $\alpha=10^{-5}/\text{ }^{\circ}\text{C}$  (coeficiente de dilatação longitudinal);
- $\gamma_c= 1,4$  (coeficiente de minoração da resistência do concreto);
- Cobrimento = 5 cm.

- Estacas Camisas Metálicas:
  - Aço ASTM A36.

## 5.5. Normas

Normas ABNT:

- NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6120 - Cargas para cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6122/2010 – Projeto e execução de fundações;
- NBR 6123 - Forças devido ao vento em edificações;
- NBR 7187 – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido;
- NBR 8681 - Ações e Segurança das Estruturas – Procedimento;
- NBR 8800- Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- NBR 13.209/94 (1994) – Critérios para concepção e projeto de obras de acostagem previstos em um planejamento portuário.

A NBR 9.782/87 (*Valores considerados das ações em projetos de estruturas marítimas ou fluviais*) foi cancelada, portanto, apesar de parte da bibliografia utilizada adotar alguns de seus preceitos, a norma em si não será considerada.

O livro Engenharia Portuária de Alfredini e Arasaki (2013) engloba todo o escopo de obras portuárias e os fatores envolvidos, desde os hidrológicos, a estruturais, legislativos e estudo de casos. Importância especial se dá ao capítulo 14, que trata de estruturas e equipamentos de acostagem, onde se engloba a estrutura estudada nesse trabalho.

## 5.6. Determinação dos esforços

De acordo com Alfredini e Arasaki (2013) os esforços a serem considerados são:

- Cargas horizontais elevadas em razão do impacto das embarcações e dos esforços nos cabos de amarração das embarcações atracadas;
- Cargas Verticais concentradas por causa dos equipamentos de movimentação de cargas;
- Efeitos de empuxos de terras, que podem ser comparáveis aos demais carregamentos.

Portanto, as ações consideradas no projeto foram:

- Peso Próprio da Estrutura;
- Peso Próprio dos equipamentos;
- Forças de Amarração nos ganchos;
- Forças de Amarração nos guinchos;
- Sobrecarga na Estrutura;
- Carga de Vento;
- Corrente;
- Temperatura e Retração.

Quanto às unidades, todos os cálculos tiveram como padrão o Sistema Internacional de Unidades (SI), com as unidades básicas sendo:

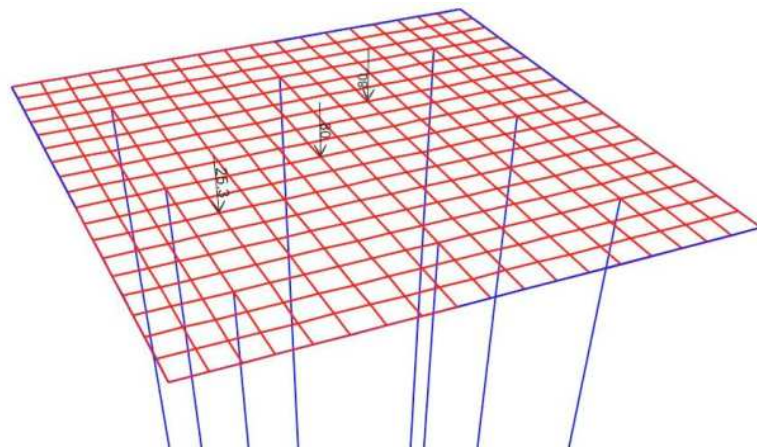
- Forças em KN (quilonewton);
- Momentos em KN.m (quilonewton.metro);
- Comprimento em m (metro).

Vale também destacar o capítulo 10, item 10.7 que trata de ações a serem consideradas nas estruturas portuárias, dando enfoque à NBR 9.782/87.

### 5.6.1. Peso Próprio

O peso próprio dos elementos da estrutura é calculado através da área da seção transversal do dolfim e da densidade do material, e já é considerado automaticamente pelo software SAP2000. Na carga permanente também foi considerado o peso próprio dos equipamentos, guinchos (8000 kg = 80kN) e gancho de desengate rápido (2530 kg = 25,3kN).

**Figura 12:** Carregamento do peso próprio aplicado ao modelo

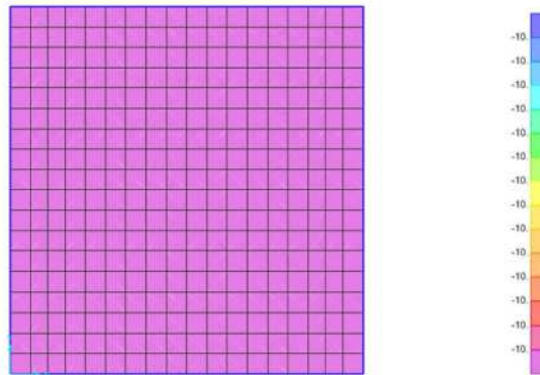


Fonte: Memorial de Cálculo (VALE, 2018)

### 5.6.2. Sobrecarga

A sobrecarga aplicada foi de 10,0kN/m<sup>2</sup>, seguindo critérios de projeto, como carga distribuída sobre os elementos da laje. A seguir figura com o carregamento aplicado ao modelo matemático.

**Figura 13:** Representação do carregamento de sobrecarga.

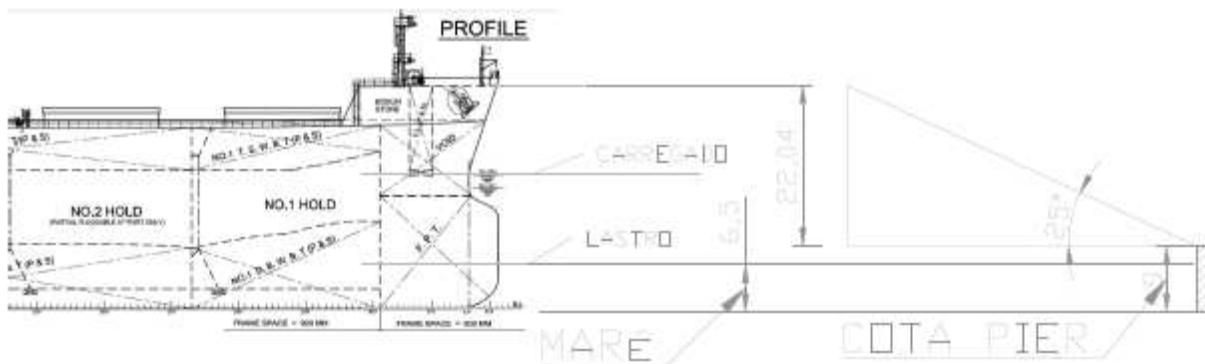


Fonte: Memorial de Cálculo-MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018)

### 5.6.3. Carregamento devido à amarração no gancho de desengate rápido

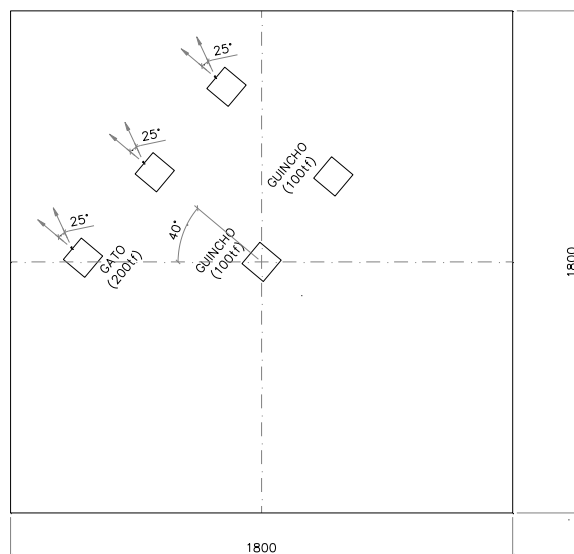
Para determinar os esforços de amarração é necessário levar em consideração a embarcação-tipo que estará realizando atividades neste píer. Tal embarcação é determinada tendo como base a frota de navios que usualmente embarca neste porto, no caso do Píer III, os graneleiros de minério, que se categorizam como VLCC (*Very Large Cruze Carrier*) carregando até 400.000,00 toneladas. Contudo, a estrutura existente do píer já é suficiente para resistir a parte dos esforços de amarração, sendo o dolfim um acréscimo para garantir uma maior segurança no processo. Assim, foi considerado o gancho em sua capacidade máxima 2000 kN com uma variação angular horizontal a  $40^\circ$  e  $65^\circ$  (Figura 15) e vertical de  $0^\circ$  a  $25^\circ$  (Figura 14).

**Figura 14:** Angulação máxima vertical dos cabos de amarração



Fonte: Critérios de Projeto CP-3250KP-G-22031(VALE, 2017)

**Figura 15:** Ângulo das amarras no gancho



Fonte: Memorial de Cálculo do projeto (MC-3250KP-C-50034, 2018).

Foram gerados quatro casos de carregamento:

- Caso 1 - 2000 kN a 40° em relação a X e 0° vertical;
- Caso 2 - 2000 kN a 40° em relação a X e 25° vertical;
- Caso 3 – 2000 kN a 65° em relação a X e 0° vertical;
- Caso 4 - 2000 kN a 65° em relação a X e 25° Vertical.

As forças foram decompostas nas direções x e y para serem aplicadas no modelo. Foi considerado o gancho uma altura de 0,5 desta forma a força está aplicada a 1,5m do centro do bloco, gerando momentos nas direções x e y.

A seguir quadro resumo dos carregamentos aplicados ao modelo.

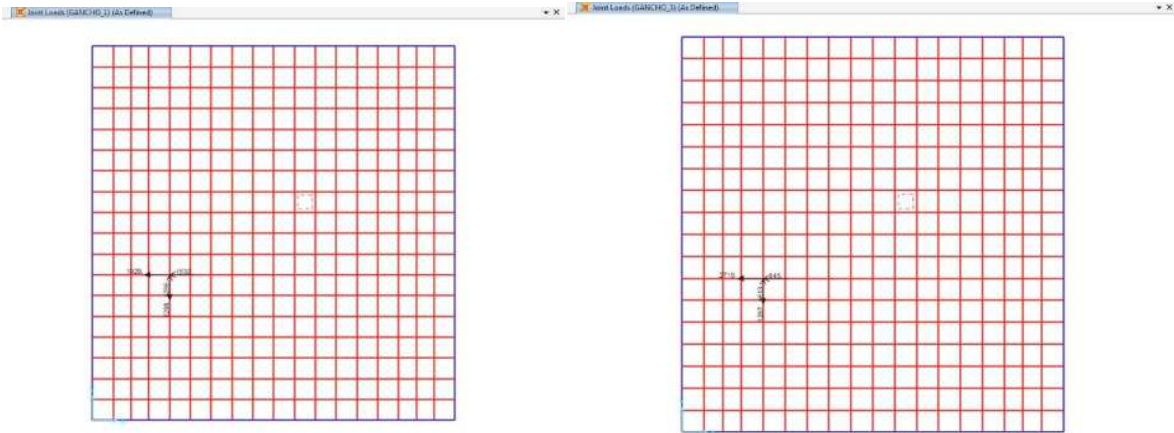
**Tabela 3:** Resumo de carregamentos aplicados à estrutura

Amarração	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (kN.m)	My (kN.m)
Caso 1	-1532	1286	-	-1929	-2298
Caso2	-1389	1165	845	-1747	-2083
Caso3	-845	1813	-	-2719	-1267
Caso 4	-766	1643	845	-2464	-1149

Fonte: Memorial de Calculo (Vale, 2018).

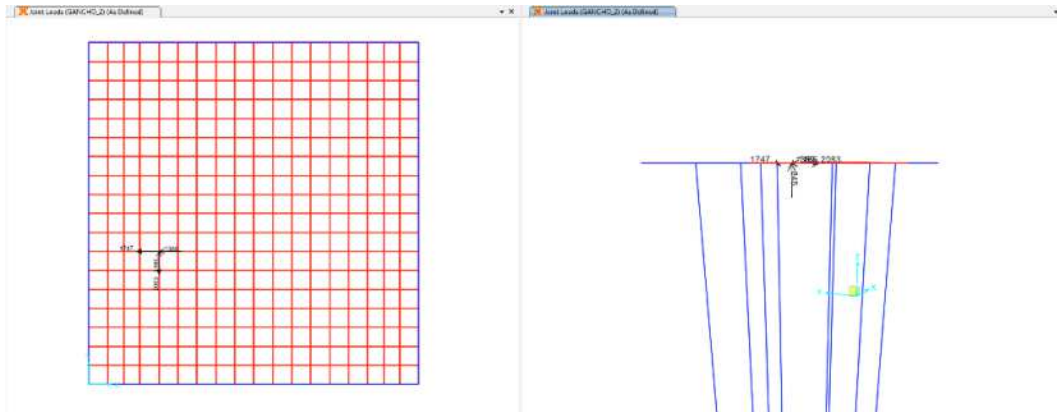
A seguir figuras dos carregamentos aplicados ao modelo.

**Figura 16:** Gancho - Caso 1 e Caso 3 de Amarração respectivamente



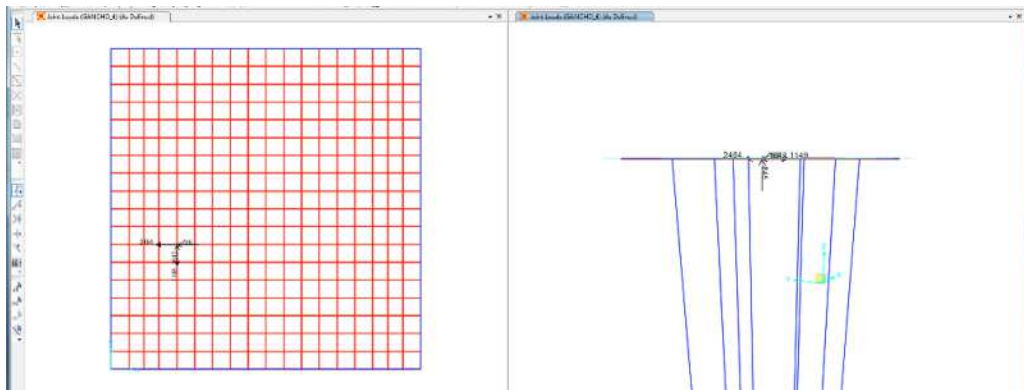
Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

**Figura 17:** Gancho - Caso 2 de Amarração



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

**Figura 18:** Gancho - Caso 4 de Amarração

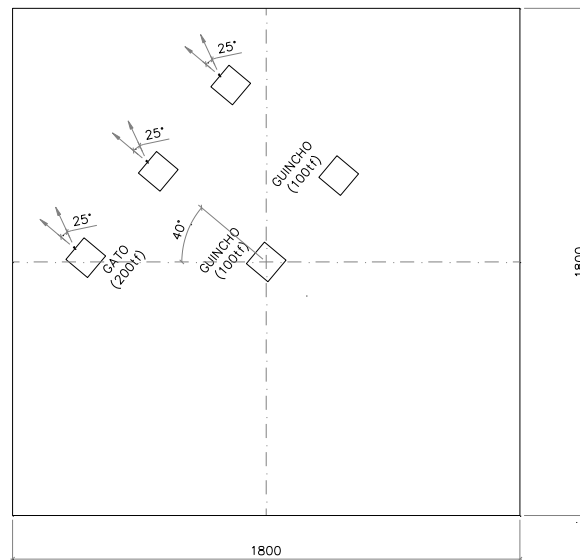


Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

#### 5.6.4. Carregamento devido à amarração no guincho

Foi considerada a amarração no guincho em sua capacidade máxima 1000kN com uma variação angular horizontal a 40° e 65° e vertical de 0° a 25°. A seguir figura demonstrando os ângulos das amarras no equipamento.

**Figura 19:** Ângulos das amarras nos guinchos



Fonte: Memorial de Cálculo do projeto (MC-3250KP-C-50034, 2018).

Foram gerados quatro casos de carregamento para cada ponto:

- Caso 1 - 1000 kN a 40° e 0° vertical aplicado nos pontos A e C;
- Caso 2 - 1000 kN a 40° e 25° vertical aplicado nos pontos A, B, C e D;
- Caso 3 – 1000 kN a 65° e 0° vertical aplicado nos pontos A, B, C e D;
- Caso 4 - 1000 kN a 65° e 25° vertical aplicado nos pontos A, B, C e D.

As forças foram decompostas nas direções x e y para serem aplicadas no modelo. Foi considerada a amarra no guincho uma altura de 0,5, desta forma a força está aplicada a 1,5m do centro do bloco, gerando momentos nas direções x e y. Os Pontos B e D correspondem aos *fairleads*, nestes pontos foram consideradas as forças de desvio.

A seguir quadro resumo dos carregamentos aplicados ao modelo.

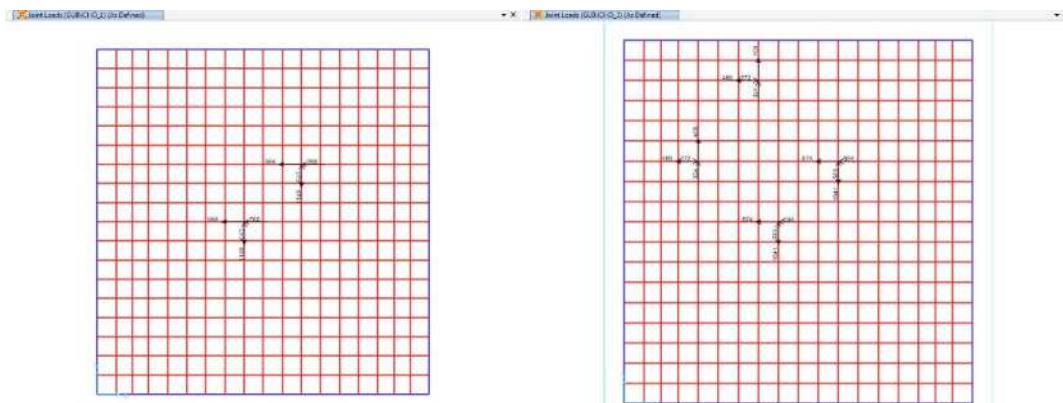
**Tabela 4:** Resumo dos carregamentos dos guinchos

Amarração	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Mx (KN.m)	My (kN.m)
Caso 1 Pontos A e C	-766	643	-	-964	-1149
Caso 1 Pontos B e D	-	-	-	-	-
Caso 2 Pontos A e C	-694	583	-	-874	-1041
Caso 2 Pontos B e D	-	-	423	-	-
Caso 3 Pontos A e C	-694	583	-	-874	-1041
Caso 3 Pontos B e D	272	324	-	-486	408
Caso 4 Pontos A e C	-629	528	-	-792	-943
Caso 4 Pontos B e D	246	293	423	-440	369

Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

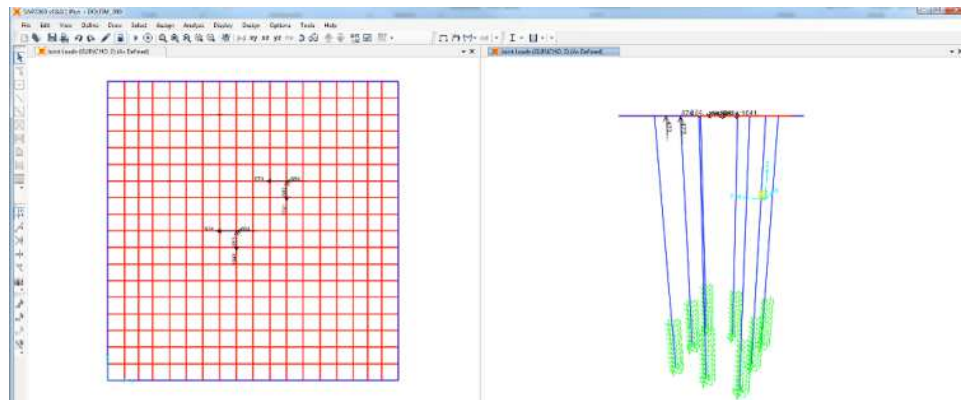
A seguir figuras dos carregamentos aplicados ao modelo:

**Figura 20:** Guinchos - Caso 1 e Caso 3 de Amarração, respectivamente.



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

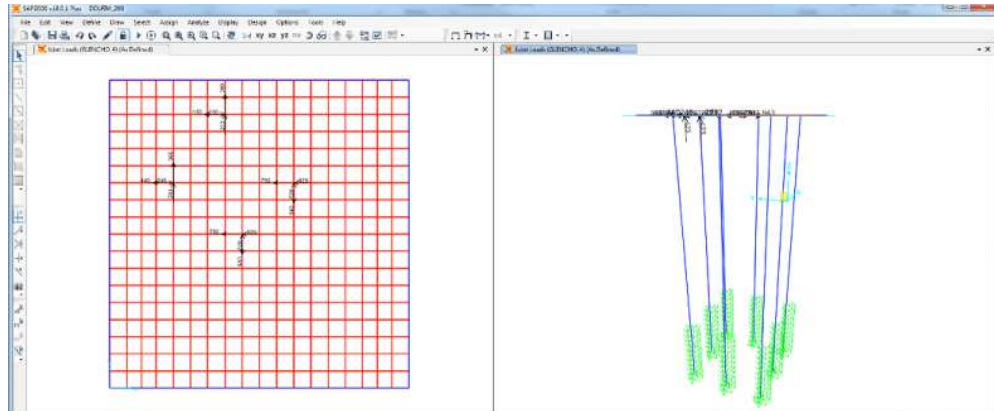
**Figura 21:** Guinchos - Caso 2 de Amarração



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).



**Figura 22:** Guinchos - Caso 4 de Amarração



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

### 5.6.5. Carregamento devido à corrente

Considerando que o terminal do Píer III é desabrigado para os efeitos da maré e ondas, a estrutura do dolfim deverá resistir à ação da corrente agindo nas estacas como força uniformemente distribuída. Contudo, a mesma atua em diferentes direções no plano horizontal. Assim, para a velocidade da corrente no sentido longitudinal do Píer III adotado o valor de 2,57 m/s e no sentido transversal o de 0,75 m/s.

A expressão utilizada para determinação dos esforços da corrente atuando sobre as estacas foi a estabelecida pela Teoria da Mecânica dos Fluidos:

$$q = 0,528 \times K \times v^2 \times \phi.$$

Corrente longitudinal:

$$q = 0,528 \times 0,7 \times 2,57^2 \times 2,0 = 4,88 \text{ kN/m}$$

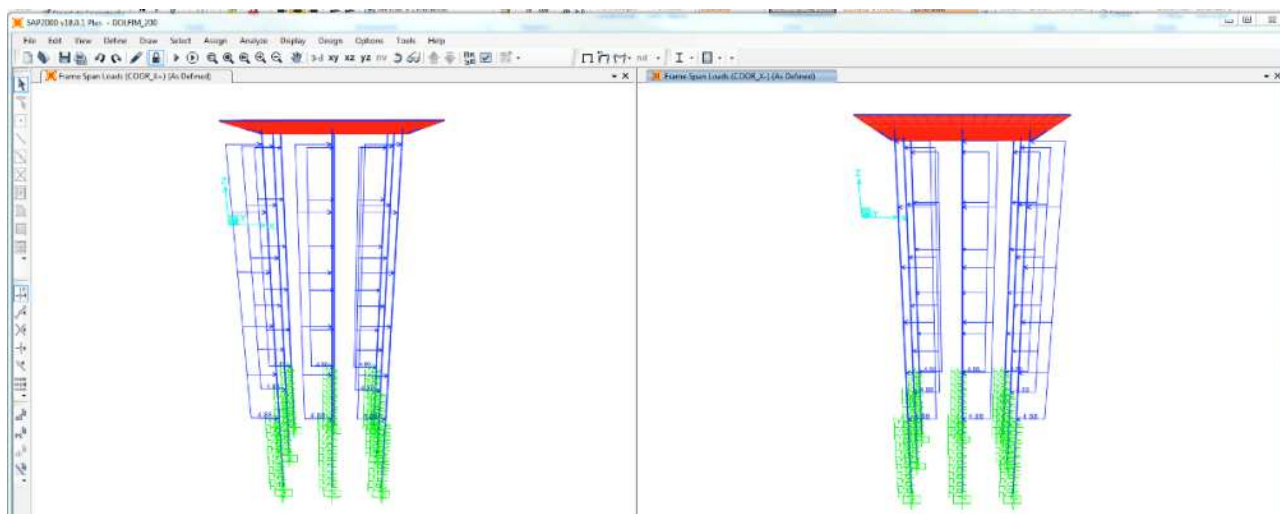
Corrente transversal:

$$q = 0,528 \times 0,7 \times 0,75^2 \times 2,0 = 0,41 \text{ kN/m}$$

Foram gerados 4 (quatro) casos de carregamento, 2 (dois) na direção X (longitudinal) positivo e negativo e 2 (dois) na direção Y (transversal) positivo e negativo.

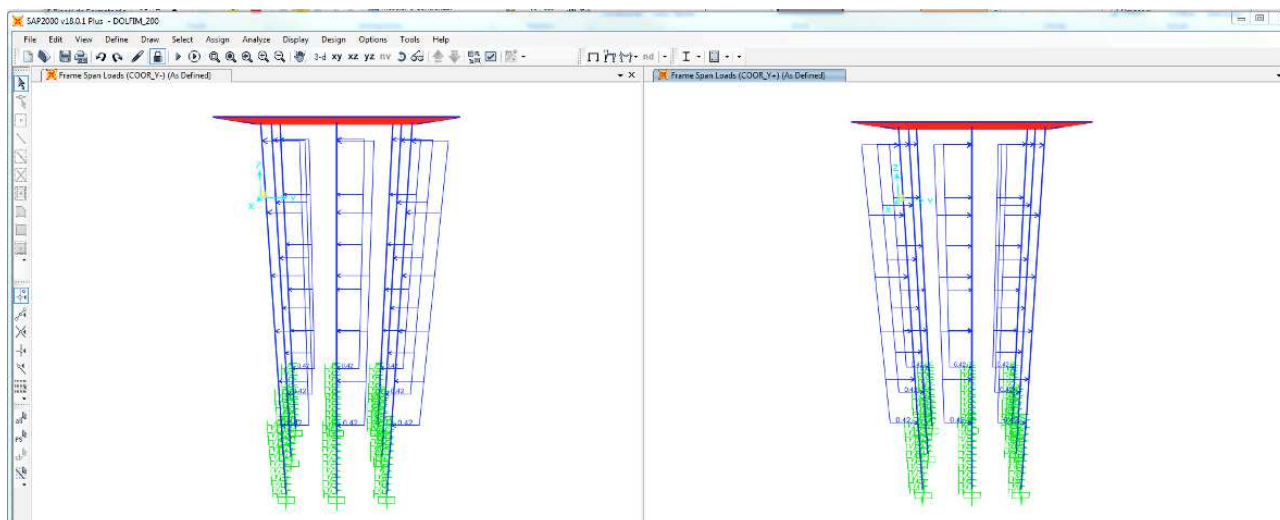
A seguir figuras apresentando os carregamentos aplicados ao modelo.

**Figura 23:** Corrente na direção longitudinal (X), positiva e negativa, respectivamente.



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

**Figura 24:** Corrente na direção transversal (Y), positiva e negativa, respectivamente.



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

Os sentidos positivos e negativos fazem referência, respectivamente, à baixa-mar (vazante) e preamar (enchente da maré). Destaca-se que o sentido da corrente somente atua concomitante com as amarrações quando no sentido negativo.

#### 5.6.6. Carregamento devido ao vento

O carregamento de vento foi determinado conforme a norma NBR 6123 - Forças devido ao vento em edificações. Foi feito um elemento de barra com sua inercia e peso

anuladas somente para aplicação do carregamento sobre o dolfim.

De acordo com os critérios de projeto:

Vk operação = 16,67 m/s

Vk tormenta = 25 m/s

Pressão de Obstrução:  $q = 0,613 \cdot V_k^2$  (N/m.)

q operação = 0,17 kN/m<sup>2</sup>

q tormenta = 0,383 kN/m<sup>2</sup>

Foi considerada uma altura de obstrução de 3,0 metros. Logo:

Vento em operação:

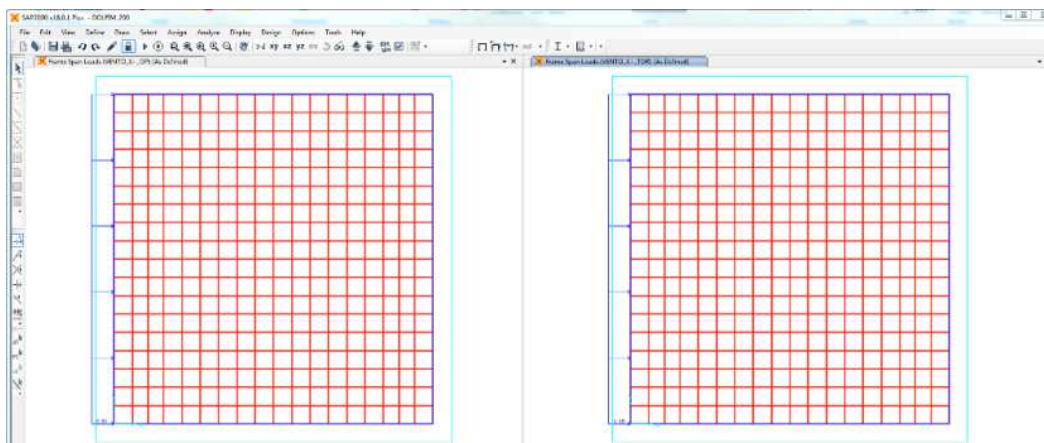
$$q = 0,17 \times 3,0 = 0,51 \text{ kN/m}$$

Vento em tormenta:

$$Q = 0,383 \times 3,0 = 1,15 \text{ KN/M}$$

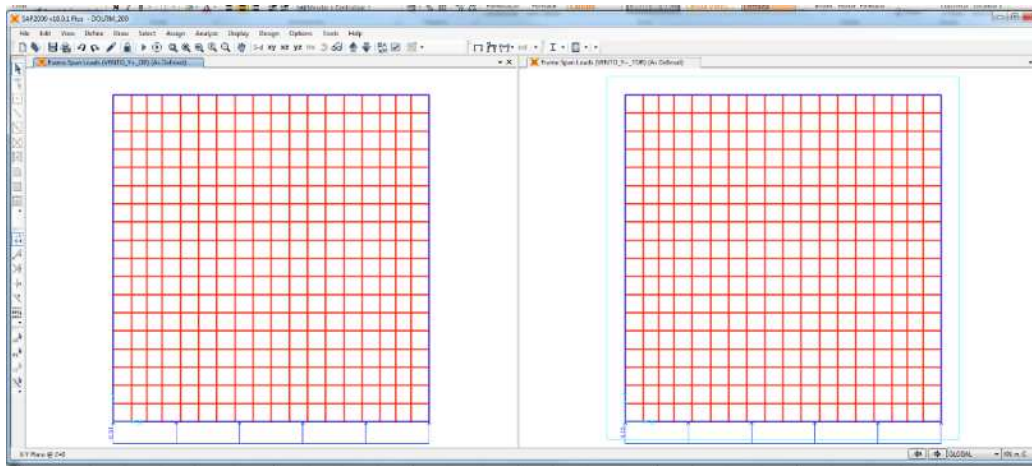
Foram gerados 8 casos de carga: direção “x”, sentido positivo e negativo, e direção “y”, sentido negativo e positivo, para operação e tormenta. A seguir figuras com 4 casos de carregamento aplicados ao modelo.

**Figura 25:** Carregamento do vento na direção “X” sentido positivo em operação e tormenta respectivamente



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

**Figura 26:** Carregamento vento na direção “y” sentido positivo em operação e tormenta respectivamente



“Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).”

### 5.6.7. Empuxo da água

A pressão da água usualmente age como carga triangular na estrutura no sentido horizontal, todavia, por estar totalmente imerso as componentes na horizontal se cancelam no plano horizontal. Assim, somente a componente vertical das forças da água representada pelo empuxo, atua na estrutura. O carregamento que considera o empuxo agindo sobre as estacas foi calculado multiplicando a densidade da água pela área da circunferência da mesma. Uma vez que a fórmula do empuxo é:

$$E = df \times Vfd \times g, \text{ onde:}$$

E= Empuxo;

df = Densidade do fluido;

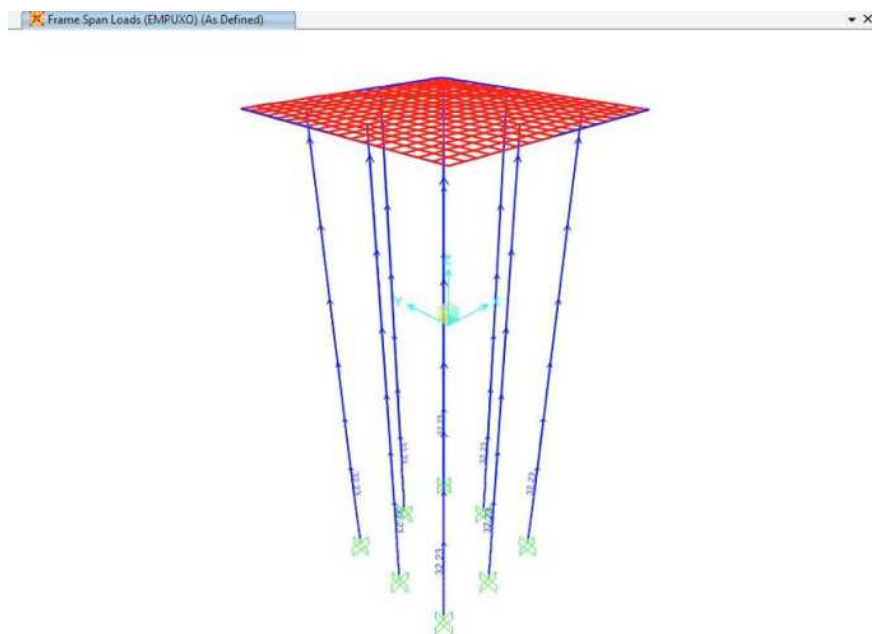
Vfd = Volume do fluido deslocado;

g= aceleração da gravidade.

Assim, para a densidade da água salgada igual a 1026 kg/m<sup>3</sup> e no intuito de conseguir uma carga distribuída por metro na vertical da estaca, o cálculo do empuxo foi:

$$1026\text{kg/m}^3 \times (\pi \times 1,0^2) \text{ m}^2 = 3223\text{kg/m} = 32,23 \text{ kN/m}$$

**Figura 27:** Carregamento do empuxo da água



Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

Na figura 27 percebe-se o carregamento no sentido vertical conforme visualização no software de análise estrutural (SAP 2000).

### **5.6.8. Temperatura e retração**

Os valores adotados para a variação de temperatura conforme critérios de projeto foram  $\pm 15^\circ \text{C}$  e para retração  $-15^\circ$ . A seguir figura do carregamento aplicado ao modelo.

### **5.7. Combinações de carregamentos**

As combinações de carregamentos e os coeficientes de ponderação das ações foram feitas de forma a serem determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura, seguindo as recomendações da NBR 6118.

Para as combinações em Estado Limite de Serviço (ELS) foi adotada a seguinte fórmula:

$$F_{d_{serv}} = F_{g_{ik}} + F_{q_{1k}} + \sum \Psi_{i,j} F_{q_{j,k}}, \text{ onde:}$$

$\Psi_{i,j} = 0,6$ , exceto para temperatura  $\Psi_{i,j} = 0,5$  e vento  $\Psi_{i,j} = 0,3$ .

Para as combinações em Estado Limite Último (ELU):

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\epsilon q} F_{\epsilon qk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\epsilon q} \Psi_{0\epsilon} F_{\epsilon qk}, \text{ onde:}$$

$\Psi_{0j} = 0,8$ , exceto para vento  $\Psi_{0j} = 0,6$  e variação de temperatura e retração  $\Psi_{0\epsilon} = 0,6$ .

A seguir tabela 5 gerada com as combinações a considerar para cada carregamento.

**Tabela 5:** Combinações de carregamento

COMB CARREG.	COMBINAÇÕES EM SERVIÇO							COMBINAÇÕES ÚLTIMAS						
	Nmáx					Nmin		Nmáx					Nmin	
	COMB1	COMB2	COMB3	COMB4	COMB5	COMB6	COMB7	COMB8	COMB9	COMB10	COMB11	COMB12	COMB13	COMB14
CARGA PERM.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
SC	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	1,4	0,98	0,98	0,98	0,98	-	-
AMARRA	0,6	1,0	0,6	0,6	1,0	1,0	0,6	0,98	1,4	0,98	0,98	0,98	1,4	0,98
GUINCHO	0,6	1,0	0,6	0,6	1,0	1,0	0,6	0,98	1,40	0,98	0,98	0,98	1,40	0,98
CORRENTE	0,6	0,6	1,0	0,6	0,6	0,6	1	0,98	0,98	1,4	0,98	0,98	0,98	1,4
TEMPERATURA	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,72	0,72	0,72	1,4	0,72	0,72	0,72
VENTO_OP	0,3	-	0,3	0,3	1,0	-	0,3	0,84	-	0,84	0,84	-	-	0,84
VENTO_TOR	-	1,0	-	-	-	1,0	-	-	0,84	-	-	1,4	0,84	-

Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

As combinações de carregamento encontradas serão utilizadas para o dimensionamento das estacas e da plataforma do dolfim.

## 5.8. Dimensionamento

### 5.8.1. Dimensionamento das estacas

O dimensionamento das estacas segue após a análise no software SAP2000, onde os carregamentos foram calculados em duas situações, no início do trecho escavado e na cabeça da estaca, ambos considerando ELS e ELU. As tabelas 6 e 7 revelam o resumo dos carregamentos calculados, considerando o “pior” cenário, ou maior valor em módulo.

**Tabela 6:** Esforços no topo das estacas (cota 0,0 m)

ESFORÇOS NA CABEÇA DA ESTACA								
ESTACA	ELS				ELU			
	Nk (kN)	Mkx (kN.m)	Mky (kN.m)	Mk (kN.m)	Nd (kN)	Mdx (kN.m)	Mdy (kN.m)	Md (kN.m)
E1	5184	-9245	245	9248	7332	-12931	564	12943
E4	4001	-9408	1093	9471	5677	-13157	1950	13301
E8	-1074	-2311	7859	8192	-1524	-3816	11097	11735

Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

**Tabela 7:** Esforços no início do pino escavado (cota 30,0m)

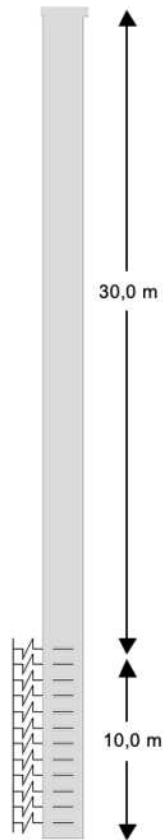
ESFORÇOS NO INÍCIO DO TRECHO ESCAVADO								
ESTACA	ELS				ELU			
	Nk (kN)	Mkx (kN.m)	Mky (kN.m)	Mk (kN.m)	Nd (kN)	Mdx (kN.m)	Mdy (kN.m)	Md (kN.m)
E1	6578	2306	-5131	5625	9284	3830	-7325	8266
E4	5394	2395	-5698	6181	7629	3952	-8119	9030

Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

Realçar que o sinal negativo nas forças resultantes representa a tração, e positivo a compressão. Quanto aos deslocamentos, considerando que o dolfim em questão é flexível, os deslocamentos encontrados de 15 cm no ELS e de 20,5 cm no ELU são aceitáveis, conforme calculados no software SAP 2000.

De acordo com o Memorial de Cálculo do projeto (MC-3250KP-C-22032, 2018), a primeira análise para dimensionamento estrutural foi feita com o software ESBELT 2.1, o qual computa o cálculo das estacas para flexão composta com precisão. Primeiramente, a definição dos parâmetros das estacas, dimensão de 2000 mm e comprimento total de 40 metros, com 30 metros livres e 10 engastados na rocha (Figura 28).

**Figura 28:** Representação da estaca com embutimento na rocha

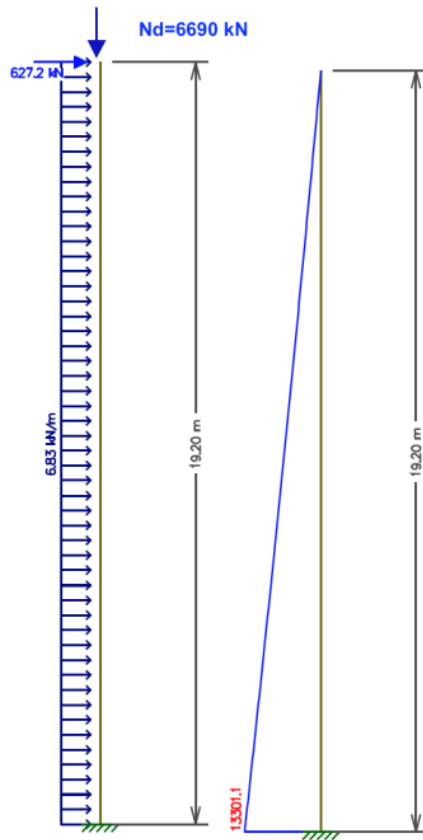


Fonte: Memorial de Cálculo do projeto (MC-3250KP-C-50034, 2018).

Quanto aos parâmetros estruturais de *input* no *software*, o pilar foi considerado como engastado na base e livre na extremidade superior, o que é adequado para a verificação de estabilidade de um pilar biengastado com deslocabilidade no topo. Quanto às cargas consideradas, a corrente é uniformemente distribuída, e uma força no sentido horizontal será aplicada no topo da estaca de forma a representar a decomposição do momento na base (máximo de 1º ordem) conforme apresentado nas tabelas 6 e 7 (Figura 29).



**Figura 29:** Representação dos esforços aplicados na estaca - Situação do Momento Máximo

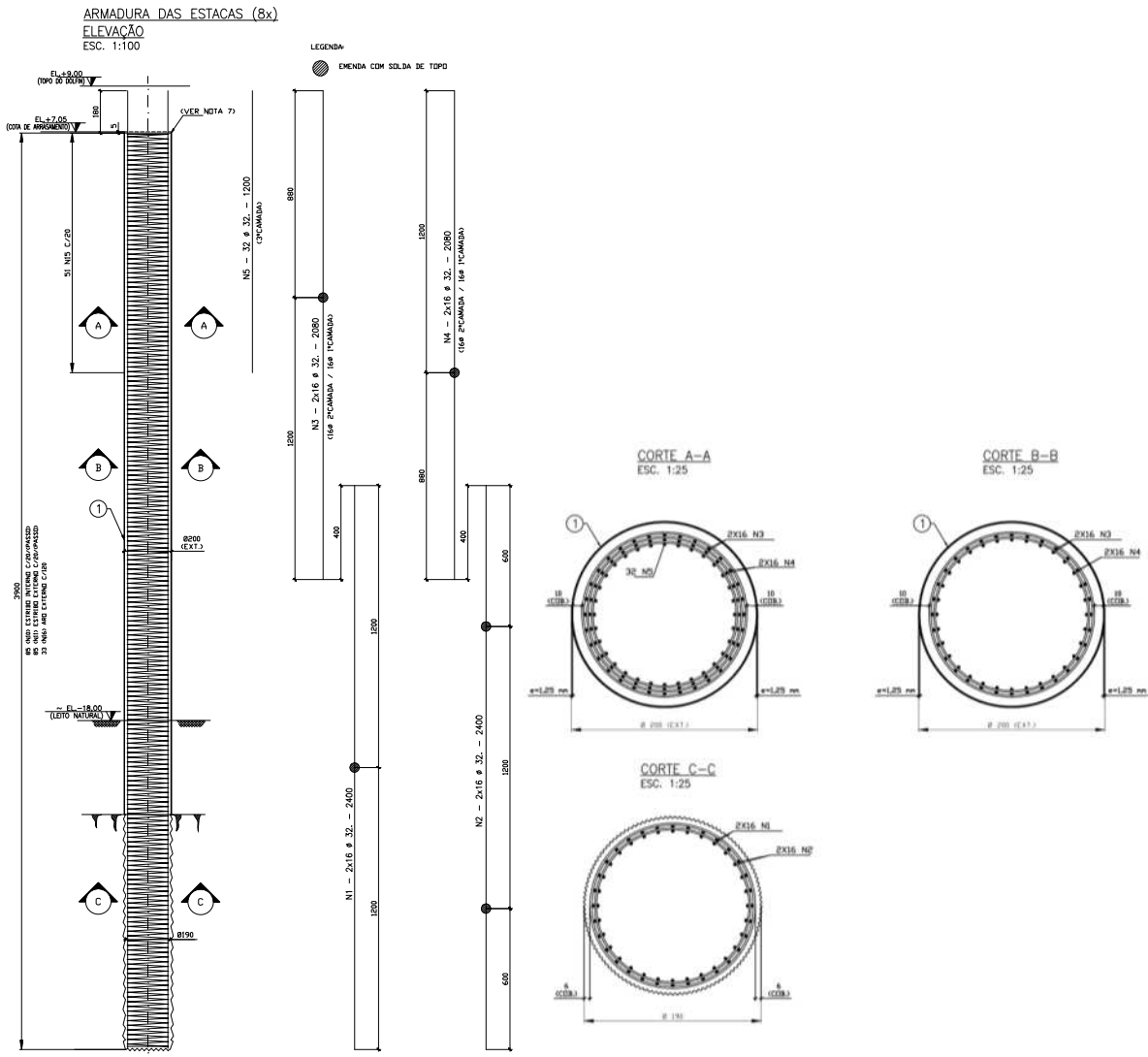


Fonte: Memorial de Cálculo - MC-3250KP-C-22032 (VALE, 2018).

Porquanto, tal representação dos esforços e análise segue em duas situações, uma de esforço vertical máximo e outra com momento fletor máximo, ambas com os respectivos esforços adjacentes. Todavia, a mesma análise é feita para as duas condições da estaca, a parte livre com revestimento metálico, considerando  $f_{ck}$  de 40 Mpa e diâmetro 2000 mm, e a parte escavada na rocha, com  $f_{ck}$  considerado de 20 Mpa (seguindo as indicações da NBR 6122) e diâmetro de 1900 mm.

Ao final das 4 situações simuladas a área da armadura adotada foi de  $400 \text{ cm}^2$  sendo 50 barras de diâmetro 32 mm. Uma vez que atende às situações de esforço de tração e compressão e o momento máximo na cabeça da estaca, e aos esforços no pino escavado.

**Figura 30:** Configuração da armadura da estaca, longitudinal e transversal



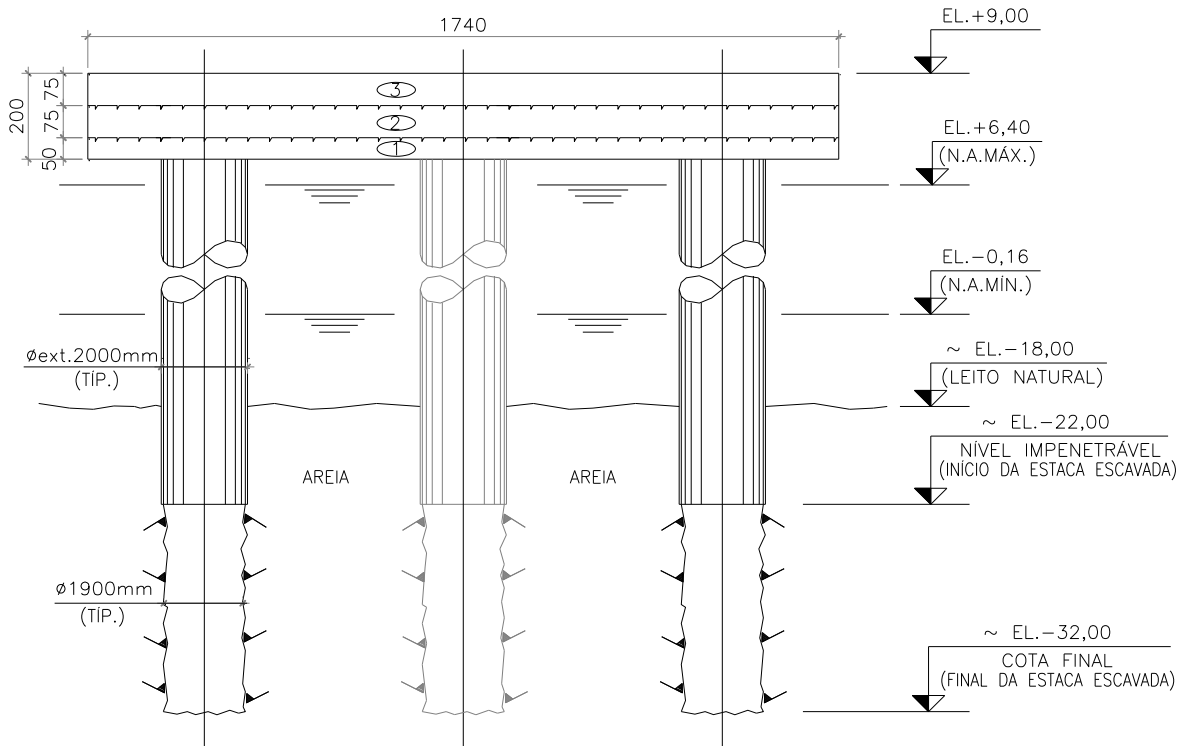
Fonte: Projeto 3250KP-C-51048 (VALE, 2018).

Todavia, um outro estudo foi realizado pelo projetista Vicente Garambone que encontrou a necessidade de reforço das estacas, de acordo com a modelagem em elementos finitos e considerando efeitos de 2º ordem. Assim a seção da estaca considerada varia na sua quantidade aço até a quantidade de 3 camadas de 32 barras de 32 mm, totalizando 768 cm² na área do corte AA (Figura 30).

### 5.8.2. Dimensionamento da plataforma

O dimensionamento da plataforma do dolfim foi feito de acordo com as fases da concretagem, com a análise estrutural feita para cada uma das 3 etapas, uma de 50 cm e outras duas de 75 cm cada. A figura 29 apresenta a vista lateral da estrutura do dolfim, onde se percebe a separação em 3 (três) etapas da plataforma.

**Figura 31:** Vista lateral do dolfim com apresentação do terreno



Fonte: Projeto 3250KP-C-22032 (VALE, 2017).

A primeira fase da plataforma é uma laje de 50 cm de espessura, que servirá de suporte para as futuras camadas. Portanto, para critério de dimensionamento, somente foram considerados nessa primeira análise os esforços do peso próprio de 0,50 m de concreto ( $1,25 \text{ kN/m}^3$ ), a sobrecarga da construção de  $3,0 \text{ kN/m}^2$ , e o peso das demais camadas totalizando 1,5 ( $3,75 \text{ kN/m}^3$ ) m de concreto. Assim, a combinação dos carregamentos para o ELU foi:

$$F_d = 1,4PP (0,5) + 1,4 SC + 1,4 PP (0,75+0,75)$$

Todavia, devido aos picos dos esforços que se formam na cabeça da estaca, e considerando essa transferência no engastamento da mesma com a plataforma, foi feita uma média dos esforços resultantes em uma faixa de 2,0 metros. Exemplo, cálculo da armadura superior na área de influência dos momentos das estacas, direção do eixo “X”:

→ Dimensionamento à flexão:

$$M_d = [(935+367)/2+(935+400)/2]/2 = 659,25 \text{ kN.m/m}$$

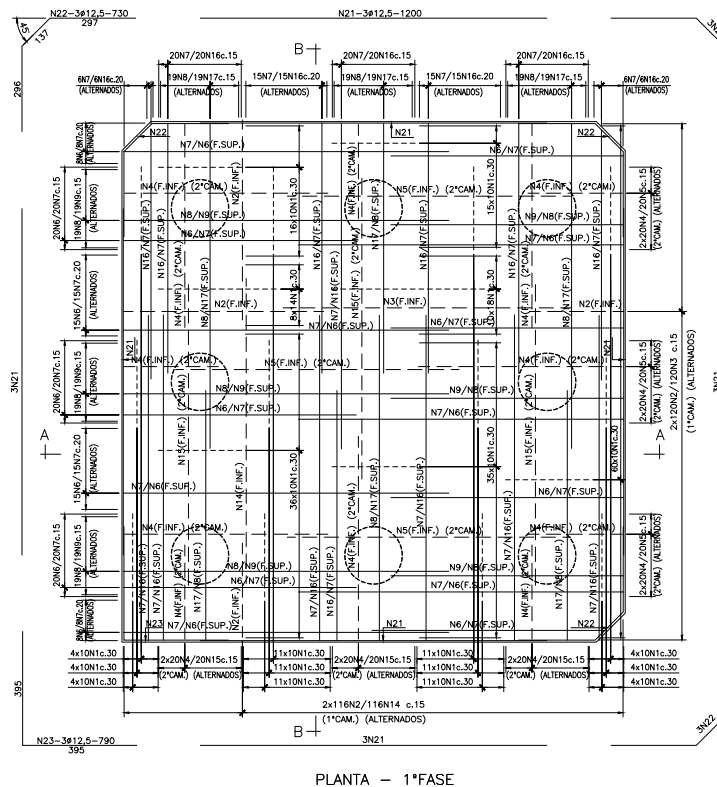
$$k_{md} = \frac{M_d}{b \times d^2 \times f_{cd}} \text{ e } A_s = \frac{M_d}{k_z \times d \times f_{yd}}$$

Para:  $K_{md} = 0,125$  e  $k_z = 0,920$

Resultando em:  $A_s = 38,3 \text{ cm}^2/\text{m} = \text{Ø}25 \text{ c.}12,5 \text{ cm} (39,28 \text{ cm}^2/\text{m})$

Assim, os cálculos também foram realizados para a direção “Y”, armaduras inferior e superior, além da verificação à punção. Com a armadura final resultante da primeira camada descrita na Figura 32.

Figura 32: Representação da armadura necessária para a 1º fase da plataforma

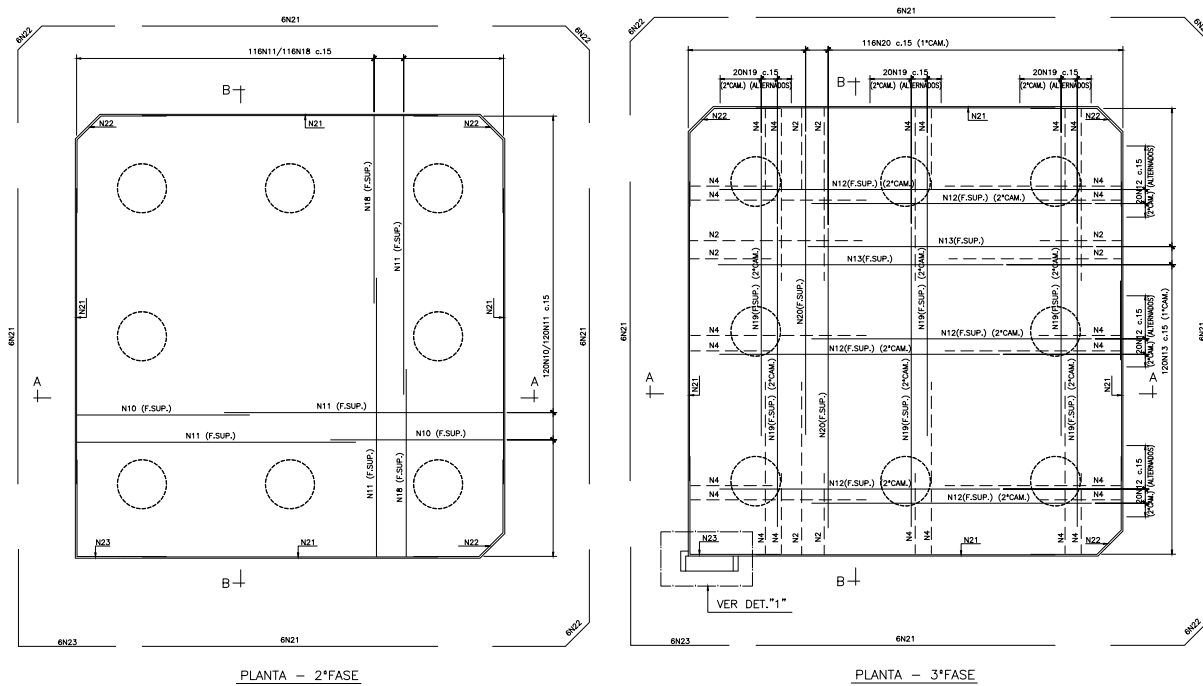


Fonte: Projeto 3250KP-C-22039 (VALE, 2017).

Para a fase final da plataforma serão considerados todos os carregamentos de

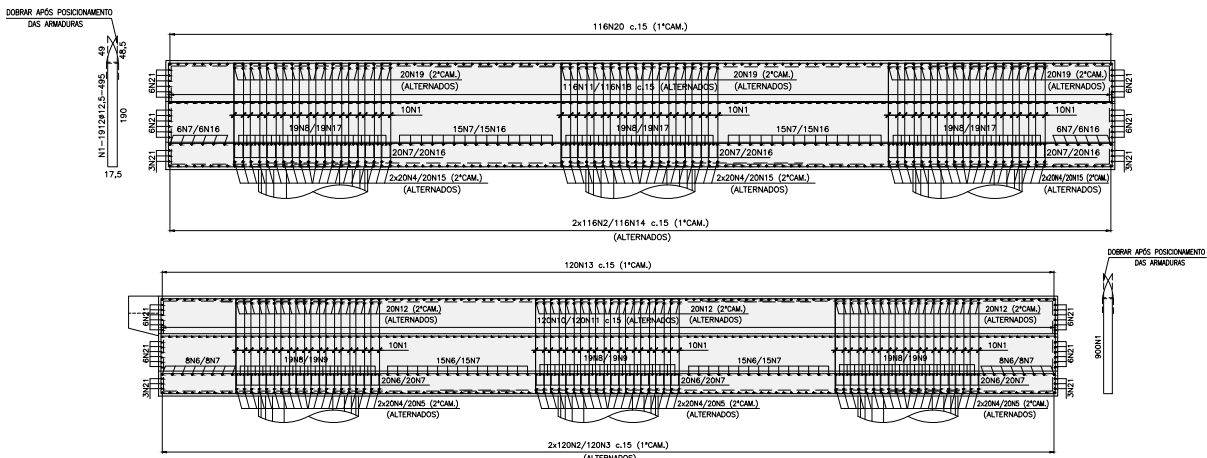
utilização da estrutura como: amarração no gancho de desengate rápido, amarração nos guinchos, corrente, temperatura, sobrecarga de utilização, etc. Todavia, o peso próprio da plataforma já foi considerado no dimensionamento da 1ª fase para armadura inferior e serão feitas combinações desconsiderando-o. Já para a armadura superior o peso próprio será considerado.

**Figura 33:** Representação da armadura necessária para a 2º e 3º fases da plataforma



Fonte: Projeto 3250KP-C-22039 (VALE, 2017).

**Figura 34:** Vista lateral da armadura da plataforma



Fonte: Projeto 3250KP-C-22039 (VALE, 2017).

## 5.9. Projeto de Fundeio da Balsa

O processo de fundeio ou ancoragem é necessário para evitar que a embarcação seja arrastada pela correnteza, ventos e/ou ondas, mantendo-a ancorada no mar ou canal (Site de Oceania da UFRJ, consultado em 2019). Assim, como da balsa serão realizadas as atividades de içamento de cargas e pessoas, é necessário que a mesma esteja propriamente ancorada no fundo a fim de garantir o mínimo deslocamento possível. Todavia, para que o procedimento de fundeio fosse realizado de forma segura foi realizado um estudo prévio considerando as cargas envolvidas e as consequentes poitas (âncoras) necessárias.

O projeto do fundeio levou em consideração as dimensões da balsa de 30 m x 17 m x 2,5 m e o peso dos equipamentos a serem empregados durante as fases de construção, conforme a tabela .

**Tabela 8:** Esforços agindo na balsa

<i>Incidência</i>		<i>Transversal</i>	<i>Longitudinal</i>	<i>un.</i>
Comprimento total	L	30,00	30,00	m
Boca moldada	B	17,00	17,00	m
Pontal moldado	D	2,50	2,50	m
Calado	H	1	1	m
Área Projetada submersa	As	28,0	17,0	m <sup>2</sup>
Área Vélica do casco	Avh	45,0	25,5	m <sup>2</sup>
Área Vélica da carga	Avc	120,0	40	m <sup>2</sup>
Área Vélica total	Avt	165,0	65,5	m <sup>2</sup>
Condições Ambientais				
Velocidade do vento	Sw	43,2	43,2	knots
Velocidade da corrente	Sc	5,0	5,0	knots
Velocidade do vento	Sw	22,2	22,2	m/s
Velocidade da corrente	Sc	2,57	2,57	m/s
Resultante				
Força do Vento	Fw	52,5	20,8	kN
Força da Corrente	Fc	94,8	57,5	kN
Força Total	Ft	147,2	78,4	kN

Fonte: Projeto SÓLIDO Engenharia, 2018

De acordo com o projeto executado pela empresa SÓLIDO Engenharia, 2018, os esforços de vento e maré podem vir de qualquer sentido. Portanto, durante o dimensionamento foram analisados dois cenários.

O primeiro com vento e corrente no sentido longitudinal, onde a força deverá ser resistida por duas poitas da proa ou da popa. Considerando a inclinação da linha de aproximadamente 45 graus, obtém-se:

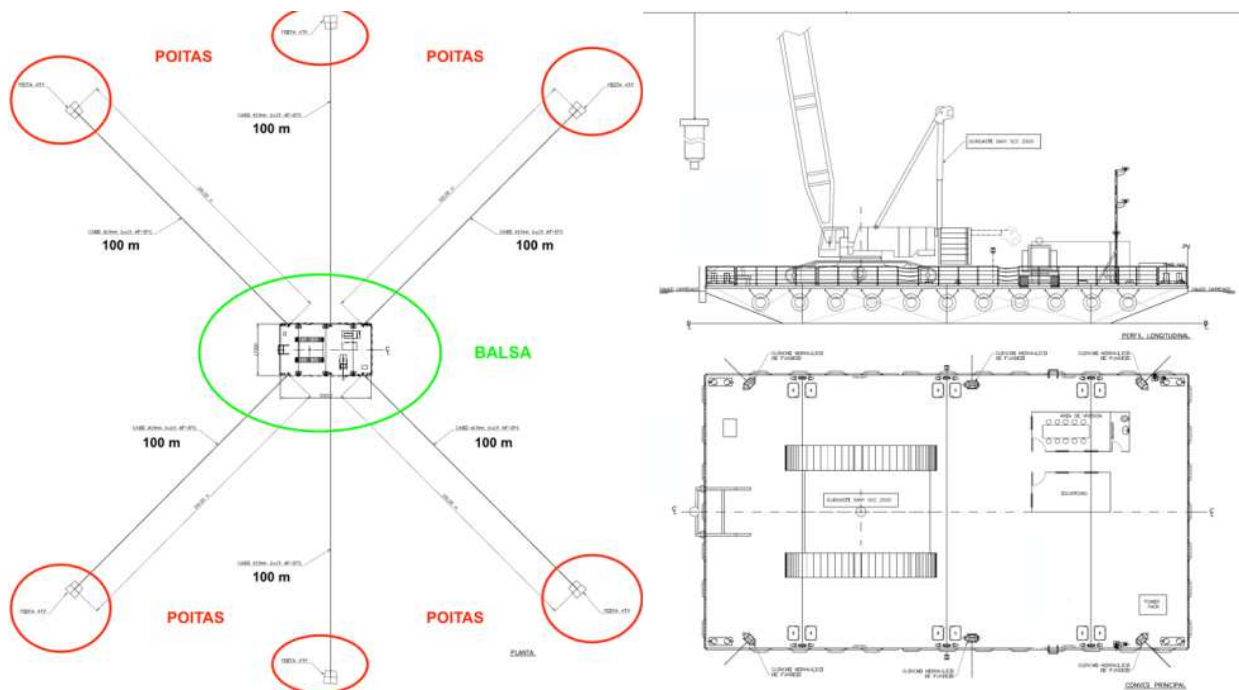
$$F \text{ na poita} = 78,4 / 2 \times \cos 45 = 74,6 \text{ kN}$$

O segundo com vento e corrente no sentido transversal, no qual a força deverá ser resistida por três poitas de bombordo ou de boreste. Para a inclinação da linha sendo aproximadamente 45 graus, obtém-se para as poitas mais carregadas:

$$F \text{ na poita} = 147,2 / 3 \times \cos 45 = 93,2 \text{ tf kN}$$

Assim, foram selecionadas seis poitas de 4 tf de peso submerso (peso no ar de aproximadamente 7 tf), conforme indicado na figura 35.

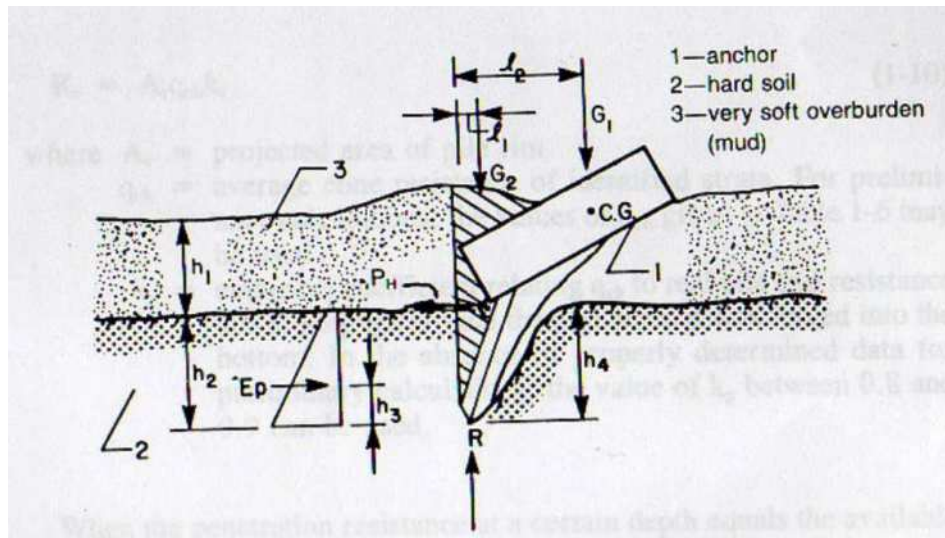
**Figura 35:** Configuração de ancoragem e equipamentos na balsa



Fonte: Projeto SÓLIDO Engenharia, 2018.

Cada poita tem a tendência de se enterrar no fundo conforme a figura 35. Estima-se que cada poita consiga resistir a uma carga (PH) da ordem de 13 tf.

**Figura 36:** Representação do efeito da poita no solo



Fonte: Projeto SÓLIDO Engenharia, 2018.

Após a determinação da quantidade de poitas necessárias, fez-se o levantamento completo dos materiais necessários para a correta ancoragem da balsa, conforme a tabela 9.

**Tabela 9:** Lista de Equipamentos necessários para o fundeio da balsa

Item	Discriminação	Quantidade	unidade
1	Guinchos Hidraulicos - Capacidade de Tração em torno de 10 tf e capacidade de freio minima de 15 tf	6	pçs
2	Poitas de 4 tf de peso submerso	6	pçs
3	Cabo de Aço de 19 mm de diametro - 6x19 AF - EIPS - 24 tf de ruptura	720	m
4	Sapatilhos para cabo de 19 mm	6	pçs
5	Grampo pesado para cabo de 19 mm	24	pçs
6	Manilhas para as Poitas - Carga de serviço maior que 10 tf	6	pçs

Fonte: Projeto SÓLIDO Engenharia, 2018.



Portanto, o projeto deve ser seguido para o posicionamento de cada poita (figura 33), de forma a garantir o arranjo ideal em favor da segurança utilizando dos equipamentos conforme a tabela 9.

## 6. MÉTODO CONSTRUTIVO

Para a obra do dolfin, após o dimensionamento no capítulo 5.7, partiu-se para avaliação técnica econômica de cada uma das possibilidades de método construtivo, sendo uma das decisões a escolha entre estacas escavadas ou pré-moldadas. Porquanto, de acordo com Tomlinson (2008, p.18) a situação em que estacas pré-moldadas são mais utilizadas em ambientes marítimos é quando estacas escavadas são impraticáveis ou antieconômicas. Pois, usualmente as estacas pré-moldadas apresentam um reforço na quantidade de aço para os esforços de transporte, manuseio e cravação, e, uma vez que a estaca está enterrada, tal reforço é excessivo. Um outro fator é a não adequabilidade a variações encontradas na camada resistente do solo, que resultariam na necessidade de corte ou emendas na estaca. Além de que, pelo fato de a quantidade de estacas ser pequena (oito no total), o custo de construção de uma linha de fabricação não justificaria o investimento.

Assim, no caso da obra do dolfin do Píer III, alguns fatores foram decisivos na escolha pela estaca escavada, dentro os quais:

- A indisponibilidade de área canteiro para fabricação das estacas próximo à obra, com distancias superiores a 10 km. Sabendo que o transporte é um fator problema para estacas pré-moldadas;

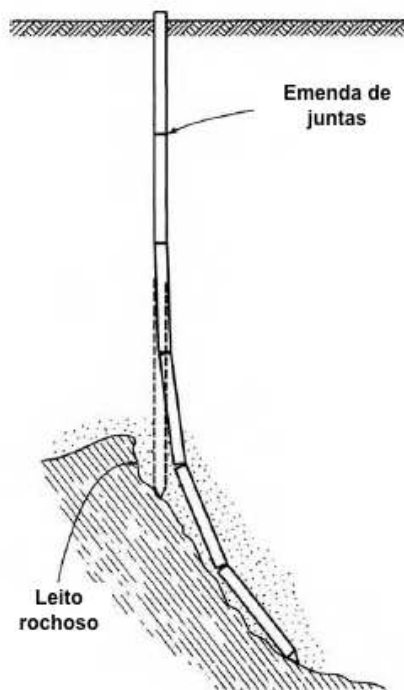
- O restante das estacas em função da cota da superestrutura exige que o comprimento da estaca sem emendas seja de 42m em média (25m de lamina d'água + 4 m de camada de finos + 10m de pino + 3 m até o fundo da plataforma do dolfin) o que gera esforço de 329 t. Para tanto seria necessário um guindaste com capacidade e peso próprio elevados e com dificuldade no mercado nacional;

- O *Know-How* da empresa, pois em obras anteriores do Píer I, Píer III e Píer IV foram empregadas estacas escavadas. Assim, tem se uma lista de aprendizados e boas práticas que ajudam a garantir a segurança e prazo reduzido na entrega da obra;

- A possibilidade de utilização de peças pré-moldadas com emendas foi eliminada.

Conforme especificado por Tomlison (2008, p.33), a ação da correnteza e ondas pode desalinhar a estaca, e com o martelo sendo aplicado com grande energia pode haver o colapso da estrutura na cravação do topo rochoso (Figura 37).

**Figura 37:** Colapso de estaca pré-moldada com juntas emendadas

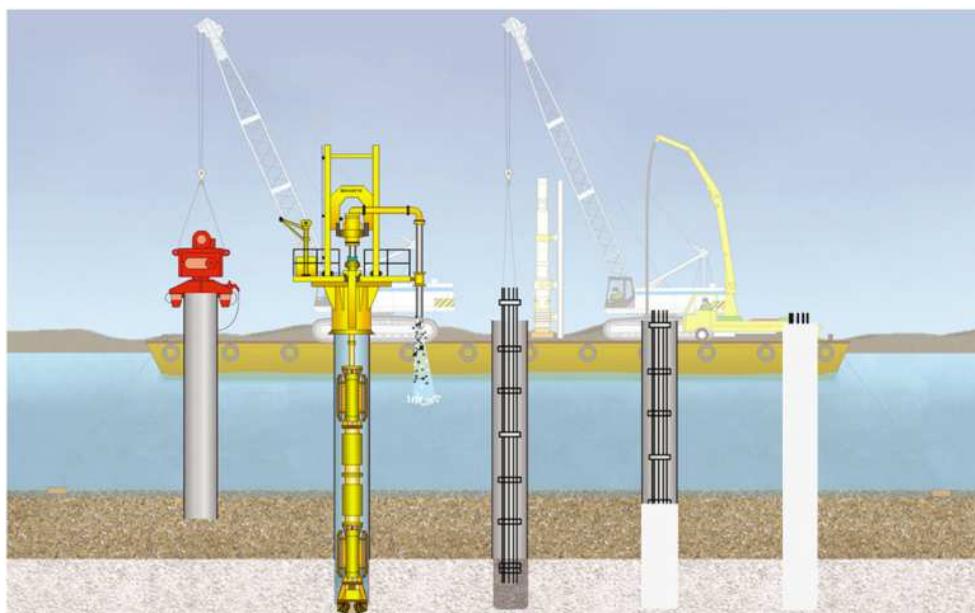


Fonte: Adaptado de TOMLINSON (2008, p. 34).

Assim, foi acertado a não adoção de estacas pré-moldadas para o delfim do Píer III. Partindo-se para adoção de execução de estacas escavadas com uma cravação de camisa metálica com diâmetro de 200 cm e espessura de 10 mm e 12,5 mm.

A Figura 38 retrata o processo execução de estacas escavadas em ambiente marítimo, com cravação do envoltório por uso de martelo vibratório, perfuração em rocha com a Wirth, colocação de armadura metálica, concretagem e estaca pronta.

**Figura 38:** Exemplo de estaca escavada em rocha – Ponte sobre o rio Orinoco



Fonte: Caputo, 2015

A sequência construtiva das estacas escavadas do delfim segue as determinações de estudo técnico VALE (ET-3250KP-S-22031), também procedimentos da NBR 6122, conhecimento e boas práticas do livro de Velloso e Lopes (“Fundações” de 2010), além da experiência dos profissionais encarregados da execução da obra. A sequência é descrita adiante.

### **6.1. Fabricação das Camisas Metálicas e Armação das estacas**

A fabricação das camisas metálicas se deu fora do canteiro da obra em uma fábrica especializada em trabalhos com estruturas metálicas, onde as chapas de aço deverão ser estocadas em área abrigada, a fim de protegê-las da corrosão. O procedimento de dobramento das chapas da bobina de aço para formação das camisas é feito utilizando calandra que faz o alinhamento da chapa de forma helicoidal, onde serão realizadas soldas longitudinais e transversais. Destacar que a espessura da camisa é de 10 mm nos trechos comuns e de 12,5 mm na zona de cravamento, para resistir aos impactos.

De acordo com as Especificações Técnicas da empresa (ET-3250KP-S-22031, 2017), as chapas a serem empregadas na confecção das camisas metálicas devem

atender às especificações ASTM A-36, sendo o aço com tensão de ruptura da ordem de 400 a 500 MPa e de escoamento da ordem de 250 MPa. As camisas metálicas deverão ter a forma circular perfeita, conforme norma ASTM A-252.

A estocagem das camisas metálicas prontas, bem como seu transporte e manuseio deverá ser tal a não produzir danos ou deformações nas mesmas.

**Figura 39:** Bobina de chapa metálica e procedimento de soldagem interna e externa de camisa metálica



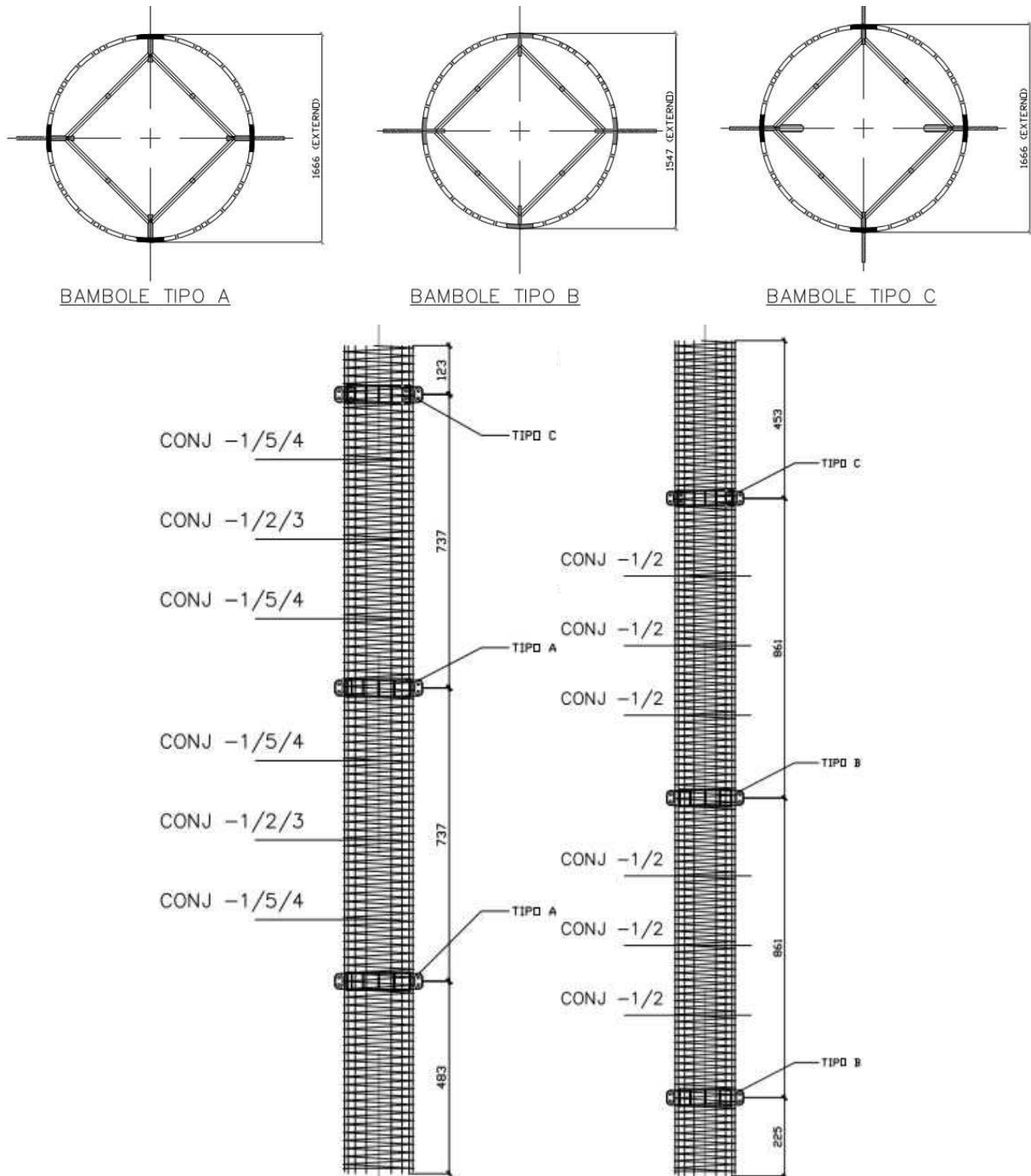
Fonte: Autor, 2019

As armaduras metálicas foram também moldadas fora do canteiro avançado, em duas peças de aproximadamente 20 metros de comprimento. Cada armadura completa é dividida em 3 seções de malhas, uma em malha tripla (a que fica no topo da estaca) e duas com malha dupla (uma na zona intermediária e outra que ficará engastada no leito rochoso).

A armadura em questão apresenta características específicas, como espaçadores em formato de cilindro de concreto, com 8 cm de raio e 5 cm de espessura; as soldas de topo em cada uma das 32 barras, de acordo com as definições de malhas; os “bambolês” metálicos, ou anéis de enrijecimento, que ficam na parte interna da armadura,

possibilitando o posicionamento no interior do envoltório sem deformação do seu diâmetro garantindo a forma e integridade da estrutura, são espaçados entre 7,37 e 8,61 metros entre cada, de acordo com o projeto (Figura 40).

**Figura 40:** Representação dos “bambolês” conforme projeto e executado.



Fonte: Autor, 2019

## 6.2. Cravação das camisas metálicas

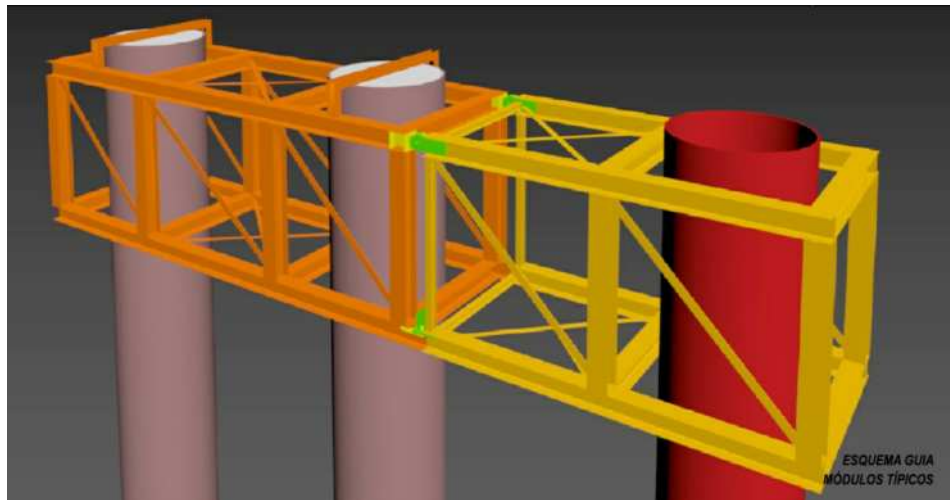
De acordo com a definição do projeto, as camisas metálicas serão cravadas até o impenetrável seguida de execução de estaca escavada em rocha em profundidade entre 9 e 10 metros. Entretanto, para a realização do cravamento é necessário que as camisas estejam locadas e estabilizadas com o uso de gabaritos, ou guias. Assim, o processo segue a ordem em que os gabaritos são locados, de acordo com a figura 43. Para a primeira estaca (E6), a camisa metálica é balizada com auxílio de gabarito metálico fixado na estrutura existente do píer III (figura 41), as seguintes terão as guias de cravação engastadas a partir da primeira (figura 42). As guias têm por objetivo garantir o alinhamento da estaca durante os processos de cravação, escavação e concretagem.

**Figura 41:** Esquema tridimensional do modulo arranque da guia de cravação



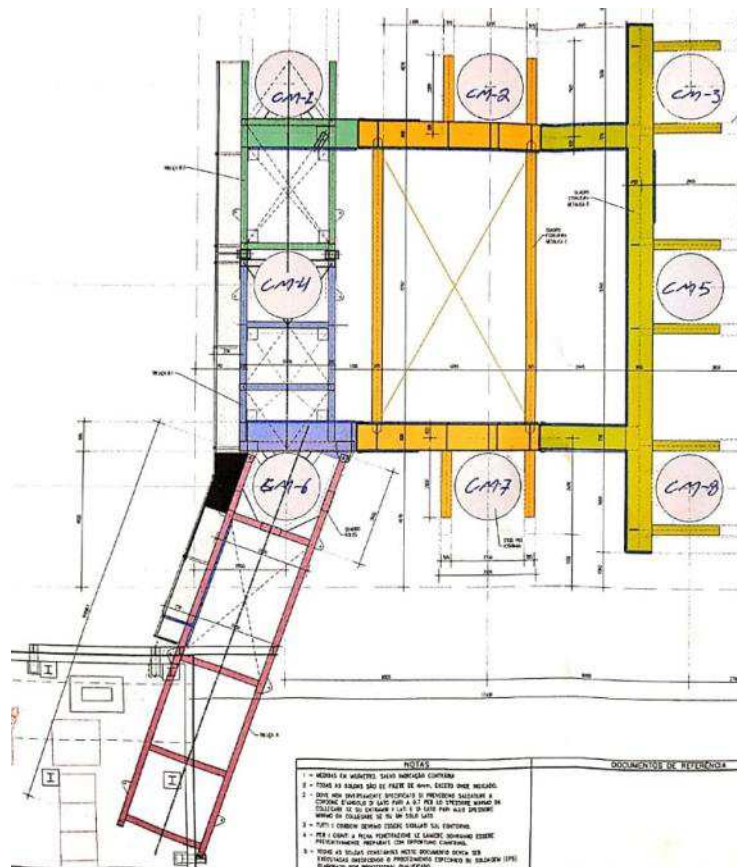
Fonte: Projeto PIACENTINI TENCENGE do BRASIL, 2018.

**Figura 42:** Esquema tridimensional dos módulos típicos da guia de cravação



Fonte: Projeto PIACENTINI TENCENGE do BRASIL, 2018.

**Figura 43:** Representação das estacas e a ordem da montagem dos gabaritos

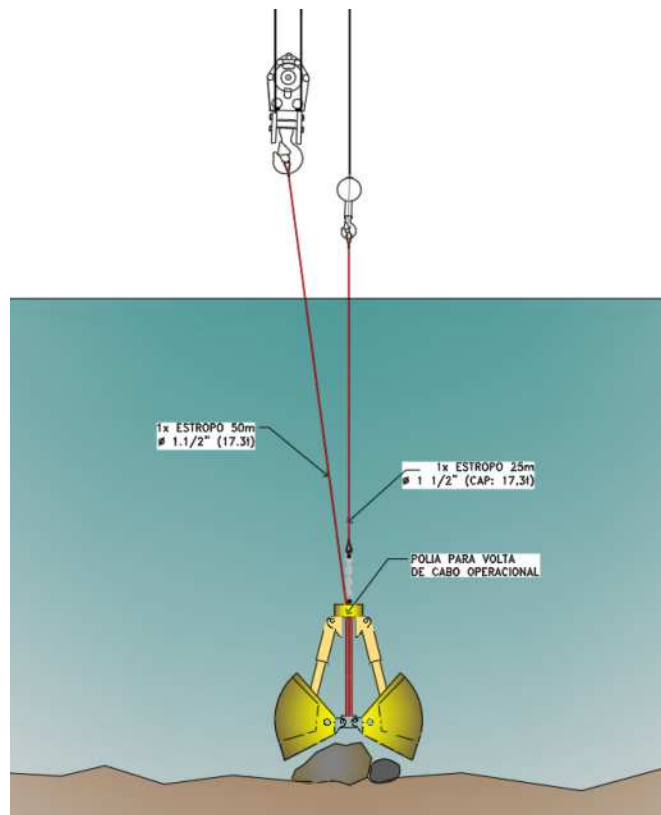


Fonte: Projeto PIACENTINI TENCENGE do BRASIL, 2018.

Antes de a camisa fazer contato com o terreno é necessária a remoção de objetos

e rochas, que se configurem como anteparo para a cravação da camisa. Tais pedras ou corpos estranhos no geral devem ser previamente identificados com a ajuda de sondagens e/ou mergulhadores. Assim, a remoção de tais rochas será executada com auxílio de equipamento *clamshell*, o mesmo é acoplado na extremidade do guindaste e funciona como uma “concha”/“garra” que segura os materiais que serão removidos da trajetória da estaca (conforme figuras 44 e 45).

**Figura 44:** Representação da remoção de rochas com uso de clamshell



Fonte: PIACENTINI do BRASIL, 2019.



**Figura 45:** Mapa de reposicionamento das rochas

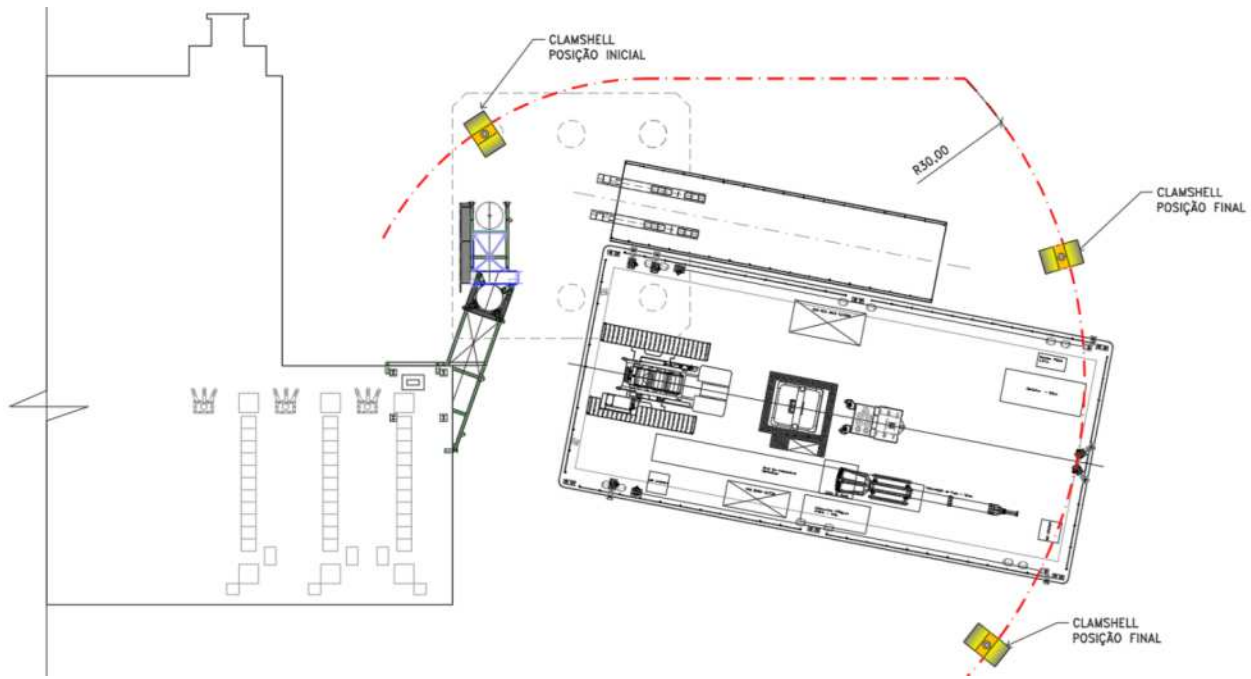
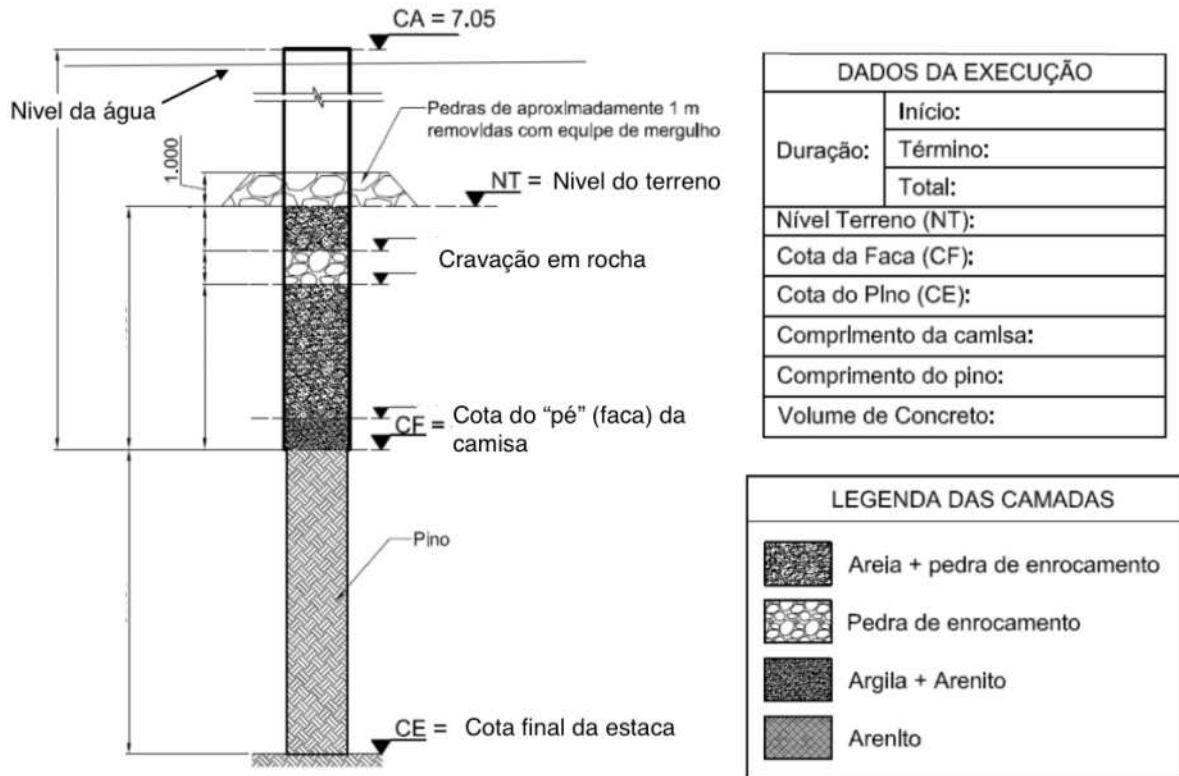


Foto: PIACENTINI do BRASIL, 2019.

Durante o processo de cravação as estacas, primeiramente, farão contato com uma camada de areia, argila e pedras de enrocamento, que deverá ceder facilmente com o peso próprio da camisa e com o auxílio do martelo vibratório, até que a camisa metálica faça contato com a camada resistente do solo.

Todavia, pedras podem ser encontradas na direção do cravamento da camisa, antes da mesma encontrar o leito rochoso. Assim, será necessária uma etapa de cravação em rocha, onde será utilizado um trepano para fragmentação do material rochoso. Detalhe que a perfuratriz Wirth também pode ser utilizada para a cravação da camisa até o momento que a mesma se estabilize sobre uma camada de arenito, onde será iniciado o pino (Figura 46).

**Figura 46:** Representação do perfil de terreno esperado para a cravação das camisas



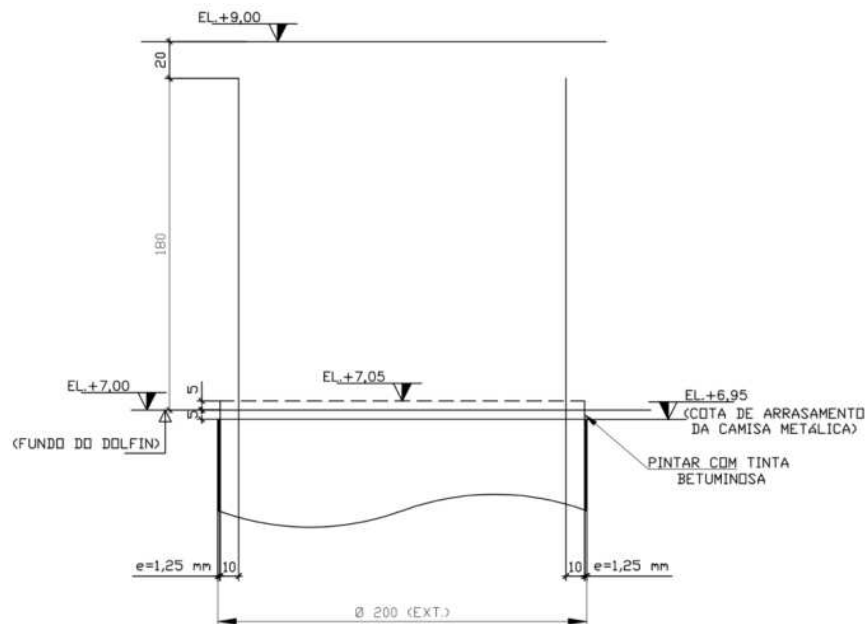
Fonte: Adaptada de Relatório PIACENTINI do BRASIL, 2019.

Destacar que durante o processo de cravação, o prumo da camisa metálica deve ser aferido a cada 2 metros de penetração para garantir o correto alinhamento. Além de que o comprimento das camadas pode ter variações, porém o pino deve ter um comprimento mínimo de 9 metros, conforme determinado no projeto.

### 6.3. Arrasamento do topo da camisa metálica

Antes da execução do pino escavado, será necessária a realização de arrasamento no topo da camisa para que seja possível a acoplagem da perfuratriz com segurança. No entanto, conforme a perfuração prossegue, será necessária a solda do fragmento de volta na camisa para concretagem. Uma vez que o comprimento total da camisa necessária sofre pequenas variações de acordo com a profundidade das camadas perfuradas. Assim, o fator limitante para o arrasamento é a cota final de onde iniciará a superestrutura do dolfim.

**Figura 47:** Detalhe de arrasamento da camisa metálica



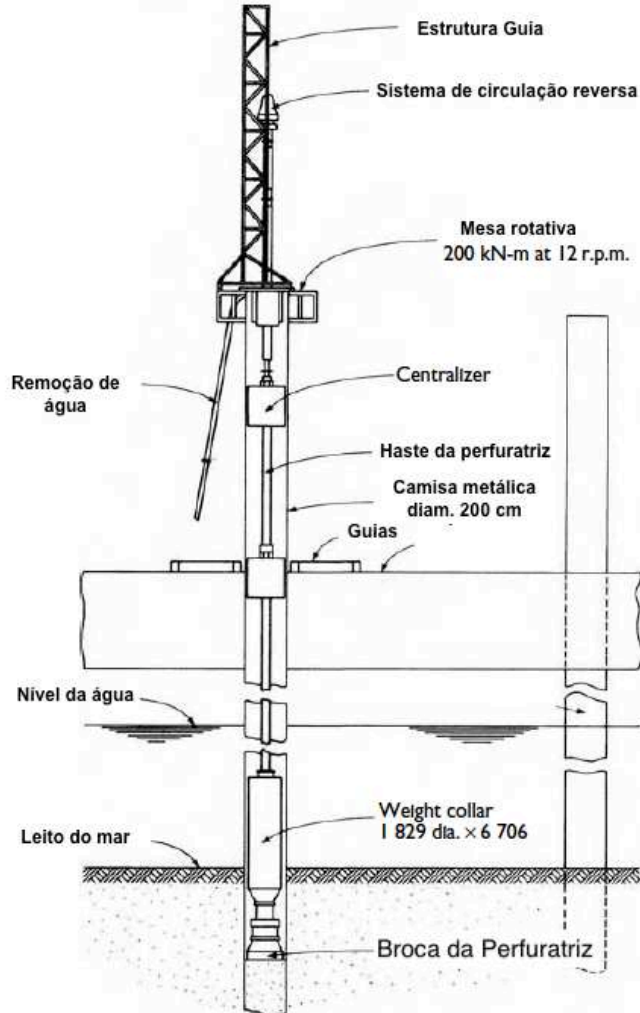
Fonte: Projeto 3250KP-C-51048 (VALE, 2018).

Conforme a figura 47, o arrasamento da camisa metálica será realizado na cota 6,95 m, ficando a 5 cm abaixo da cota do fundo do dolfin.

#### **6.4. Execução de estaca escavada em rocha**

Conforme detectado nos levantamentos geotécnicos a camada rochosa, ou de material impenetrável, se encontra numa cota próxima ao nível do leito marítimo, assim, após a camisa metálica fazer contato com o tal, ter-se-á o início do processo de escavação de rocha para embutimento da estaca. A execução terá uso de perfuratriz Wirth, a qual será instalada no topo da camisa metálica, e, com o uso de hastes metálicas terá seu comprimento estendido (por dentro da camisa) até que faça contato com a rocha e possa dar prosseguimento à perfuração (Figura 48). A utilização de da perfuratriz Wirth permite que o leito rochoso seja analisado, simultaneamente à perfuração, e ainda que se atinja a cota da concretagem de forma precisa (apresentação do projeto da Ponte sobre o Rio Orinoco, 2009).

**Figura 48:** Escavação com perfuratriz utilizando *air-lift*.



Fonte: Adaptado de TOMLINSON (2008, p. 420).

Após atingir a cota de projeto do furo, 10 metros, deverão ser realizados ensaios de qualidade do material removido e coletado do fundo, a fim de aferir se o mesmo coincide com o especificado em projeto. No interior do furo o monitoramento do fluido deverá ser realizado constantemente com coleta de amostras.

Destacar que é necessária a proteção do furo contra eventuais desmoronamentos das paredes das escavações, podendo ser empregados fluidos estabilizantes (lama bentonítica ou polímero). De acordo com a Especificação Técnica, ET-3250KP-S-22031 de 2017, “o nível de fluido dentro do furo deverá, obrigatoriamente, ser mantido acima do nível da água no mínimo 1 (um) metro”. Contudo, no momento após a colocação da

armação, caso não estejam sendo atendidos os parâmetros admissíveis do fluido, deverá ser realizada limpeza do furo.

O comprimento final do pino escavado na rocha foi determinado em 10 metros, mínimo de 9 metros, conforme estudo realizado por empresa de consultoria.

### **6.5. Instalação da armadura.**

Terminada a perfuração e após a limpeza das camisas com uso do air lift (recirculação de ar e água), introduz-se a armadura de aço, formada por um conjunto de barras devidamente estribadas ("gaiola") (VELLOSO, 2010, p. 225).

A Especificação Técnica, ET-3250KP-S-22031 de 2017, dita que "a armadura deverá estar isenta de quaisquer impurezas e elementos corrosivos que possam afetar a sua integridade e prejudicar a qualidade do concreto da estaca". Assim, a concretagem deverá ser realizada tão logo a instalação da armação, com intervalo ideal inferior a 1 hora, não deixando que o mesmo seja superior a 12 horas. Todavia, casos em que seja comprovada a estabilidade do material no entorno da camisa, assegurando se de que o mesmo não venha a carrear para o orifício escavado, e a ausência de fluido prejudicial no interior, a concretagem pode ser postergada por certo período maior que 12 horas, contando que a camisa seja removida para limpeza.

A fixação da armadura fará se com o auxílio de "olhais" que são alças de içamento, ou elementos construídos para que seja possível o transporte e locação com o uso de guindaste. Além dos "olhais", a armadura apresenta espaçadores na forma de roletes que proporcionam um deslocamento com mais eficiência dentro da camisa e garantem o espaçamento projetado de 8 cm. Também, alças para travamento na camisa metálica e anéis de enrijecimento que possibilitam o posicionamento no interior do envoltório sem deformação do seu diâmetro.

As emendas da armação deverão ser por transpasse, com utilização de "clips", cujo detalhe deverá ser analisado e aprovado pela VALE.

### **6.6. Concretagem submersa da estaca**

A concretagem submersa é um ponto que requer uma atenção especial, uma vez

que difere de concretagens convencionais em múltiplos aspectos. Assim, os procedimentos adotados seguem os preceitos da NBR 6122 (2010), o livro de Velloso e Lopes (2010) e as Especificações Técnicas do projeto.

Abaixo as especificações do concreto conforme o projeto:

- *Slump test*:  $22 \pm 2$  cm;
- Atendimento às tensões características de projeto  $f_{ck} \geq 40$  MPa;
- A relação água/cimento deve estar compreendida entre os limites 0,4 a 0,6;
- Cimento e agregados compatíveis com a agressividade do meio ambiente;
- Consumo mínimo de 400 kg de cimento por  $m^3$  de concreto;
- Diâmetro máximo do agregado de  $1/8$  do diâmetro do tubo;
- Retardador de pega máximo de 3 horas, cujo cálculo e adição da porcentagem estabelecida devem ser realizados com a máxima atenção.

Primeiramente, o concreto submerso não deve ser vibrado, pois bolhas de ar tenderiam a se formar no mesmo. Uma vez que é alto adensado e de grande fluidez já permite que o espalhamento ocorra de forma constante e com preenchimento dos vazios. De acordo com Velloso (2010, p. 223) o concreto deverá apresentar abatimento (*slump*) de  $22 +$  ou  $- 3$  cm, para tanto, não deve ocorrer acréscimo de água que possa afetar a relação água/cimento, a qual deve ser no máximo 0,6. Portanto, pode ser feito uso de aditivos para garantir a plasticidade de acordo com planejamento prevista.

Segundo, não é necessário que seja feita cura extra, pois o concreto já se encontra em ambiente aquático e a camisa metálica trabalha isolando a umidade do concreto do exterior, fazendo com que a perda de água para o ambiente seja mínima.

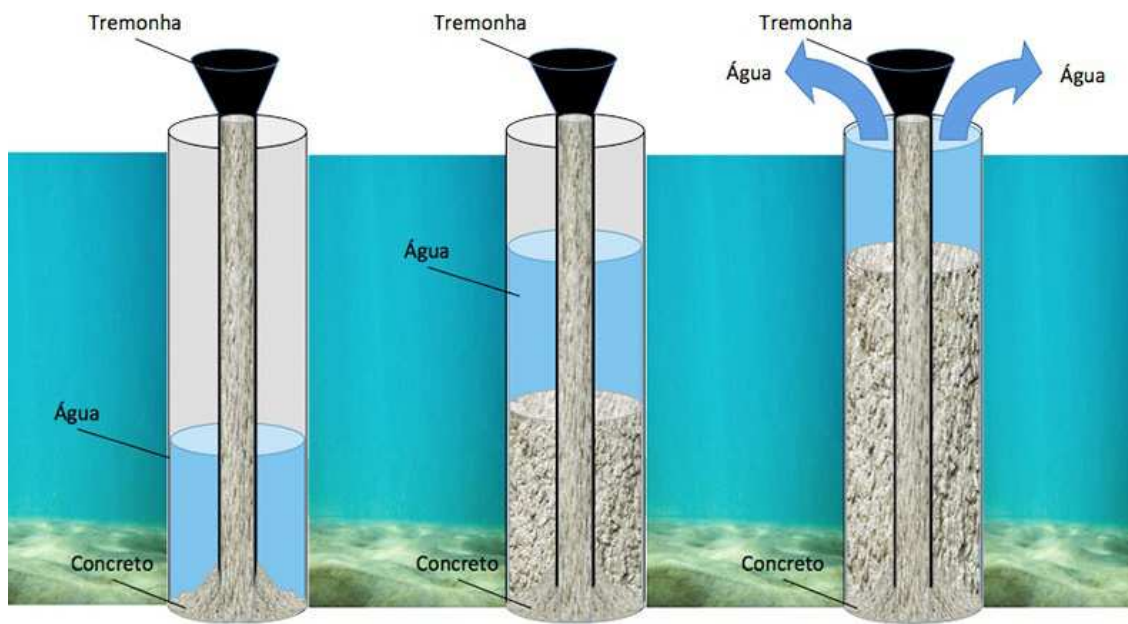
Terceiro, o mangote para a concretagem tem em sua extremidade um tubo “tremie”, ou tremonha, o qual é um tubo de aço constituído por elementos emendados por rosca com um funil na extremidade superior. A tremonha transporta o concreto lançado até o fundo do pino escavado na rocha, ficando a aproximadamente 30 cm do fundo. Tal tubo “tremie” é utilizado para que não ocorra uma distância de queda do concreto, portanto a tremonha deve estar embutida no mínimo 1,5 metros durante a concretagem, conforme indicado na Especificação Técnica (ET-3250KP-S-22031 de 2017) e confirmado por Velloso (2010, p.222). O tubo é deslocado 12 metros na vertical para cima a cada 4 caminhões de concreto lançados, aproximadamente  $36 m^3$ , o que

corresponde a 11,5 metros de altura dentro da camisa. Todavia, tal movimentação da tremonha deve ser realizada paulatinamente, não sendo maior que 60 cm por levantamento, até que a concretagem esteja concluída.

Enfatizar que a concretagem deve ocorrer de forma contínua, não permitindo que ocorram interrupções superiores a 30 minutos. Uma vez que um intervalo na concretagem pode gerar “juntas secas” na estrutura que prejudicam a continuidade do fuste da estaca. Assim, somente são admissíveis as manobras do caminhão betoneira ou procedimento de encurtamento da tremonha, controlados para que não ultrapassem o limite de tempo ideal (VELLOSO, 2010).

Por último, após atingir a cota final da camisa da estaca, o concreto continua sendo lançado e a quantidade excedente é expurgada (descartada) por apresentar as impurezas do fundo e água, que são trazidas para o topo por conta da diferença de densidade dos materiais, com o mais denso (concreto) ficando ao fundo (Figura 49).

**Figura 49:** Representação de concretagem com auxílio de tremonha e expurgo da água com impurezas.



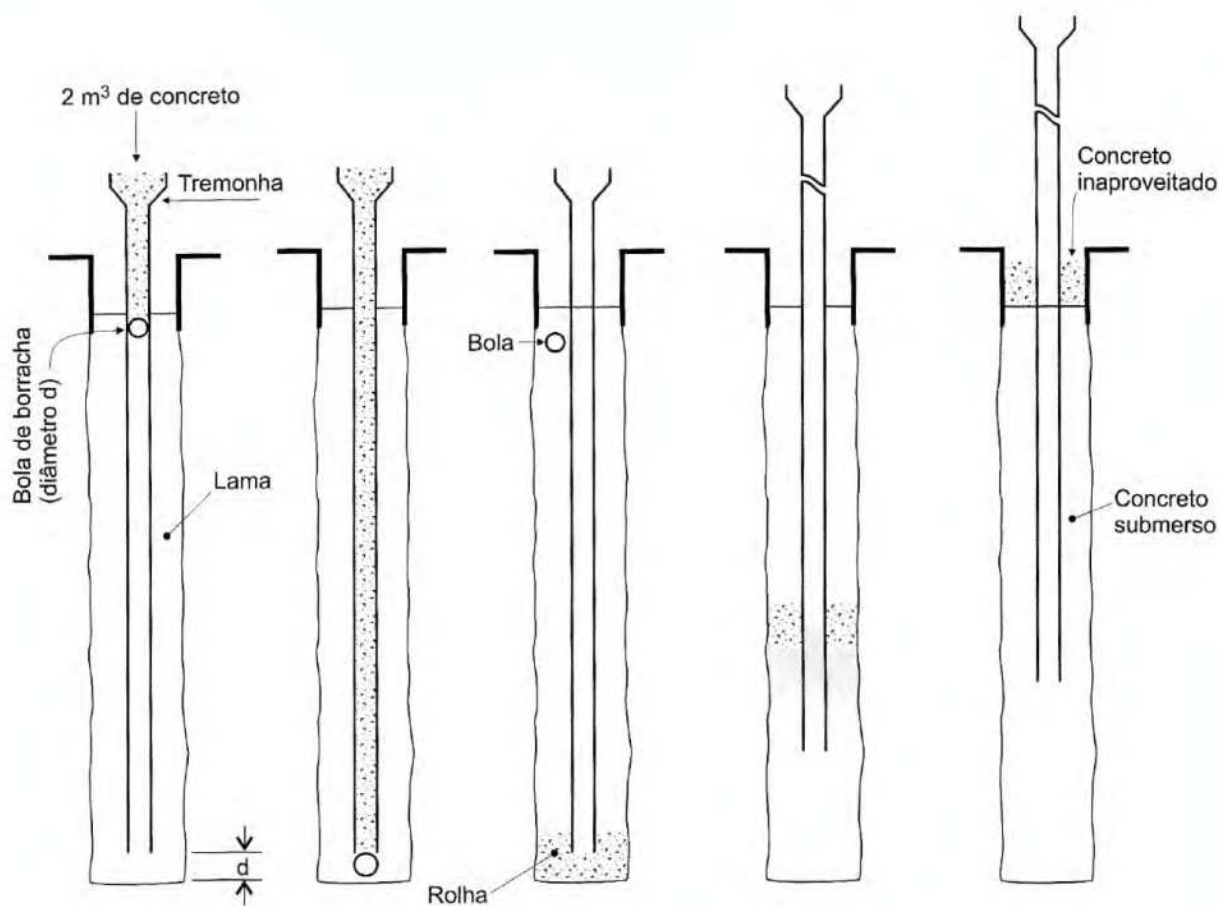
Fonte: Site da Votorantim cimentos, 2016.

Assim, a concretagem dar-se-á por concluída somente quando aflorar do fuste da camisa metálica concreto de boa qualidade. Segundo Velloso (2010, p. 223), a quantidade de concreto expurgado é, aproximadamente, “uma vez o diâmetro da estaca

acima da cota de arrasamento prevista ou, no mínimo, 50 cm” para evitar que o concreto de baixa qualidade e misturado com impurezas do furo seja parte da estrutura do dolfim.

Destacar a utilização da bola plástica para limpeza da tremonha (Figura 50), a qual serve como embolo separando a água com cimento, lançada inicialmente para lubrificação do tubo, do concreto estrutural. O fluido que já estava no tubo é expulso pela ação da gravidade, na forma do peso do concreto lançado.

**Figura 50:** Etapas de Concretagem com uso da tremonha



Fonte: VELLOSO, 2010, p. 223.

Por fim, todo o procedimento de concretagem deve ser registrado detalhadamente, anotando informações dos tempos de saída da fábrica, chegada dos caminhões na obra e início e fim da concretagem. Além de, as quantidades lançadas por

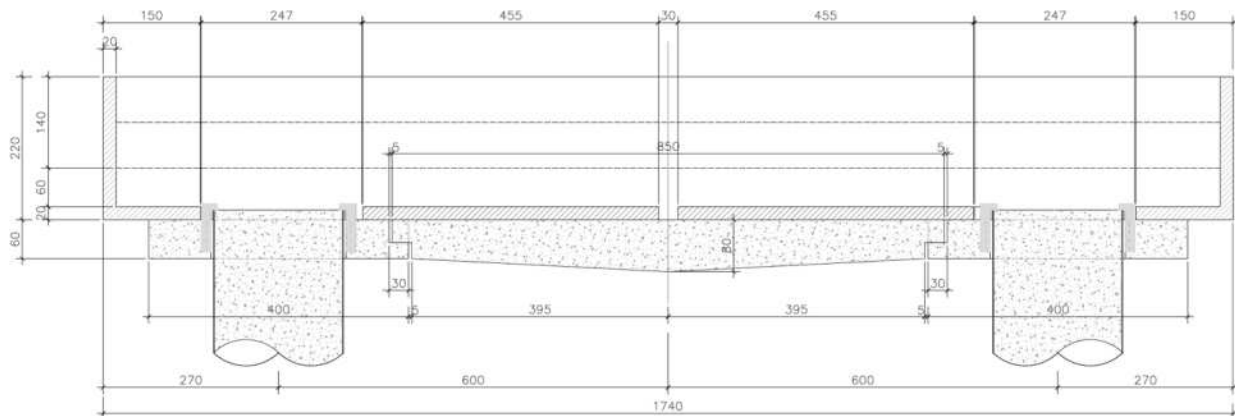


cada caminhão, a subida teórica e a cota final da coluna concretada.

### 6.7. Forma da plataforma do dolfim

O projeto foi adequado para que as formas das paredes e laje do dolfim fossem de estruturas pré-moldadas. Assim o bloco de 17,40 x 18,00 x 2,00 m terá as formas de fundo e lateral formado por 18 painéis pré-moldados (pré-laje) em concreto armado. As pré-lajes terão 20 cm de espessura, assim os painéis do perímetro terão altura de 2,20 metros (Figura 51).

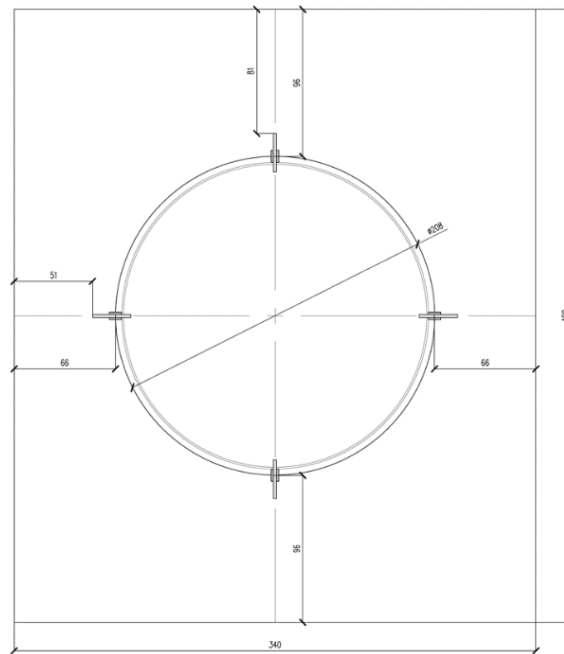
**Figura 51:** Representação do corte da plataforma do dolfim, destaque para a hachura tracejada que representa a forma pré-moldada em concreto.



Fonte: Projeto da empresa Piacentini do Brasil, 2019

As formas pré-moldadas se apoiarão sobre capiteis de concreto na extremidade das estacas, de dimensões 340 cm x 400 cm e 60 cm de altura (Figura 52).

**Figura 52:** Planta baixa e formas dos capiteis pré-moldados.



Fonte: Projeto da empresa Piacentini do Brasil, 2019

Os capiteis tem a função de aumentar a área de contato do pilar com a laje do dolfim e, assim, diminuir o efeito de punção na estrutura.

### **6.8. Armadura e concretagem da plataforma dolfim**

A superestrutura da plataforma é composta por três fases de concretagem “in loco”. A primeira é de 50 cm de altura onde estará concentrada a armadura inferior do bloco, conforme projeto exposto no capítulo 5.8.2. Após a cura dessa fase será feita a 2ª camada de concretagem com 75 cm de altura. Nesta fase já será montada parte da armadura superior do bloco e os chumbadores dos ganchos de amarração. Na 3ª e última fase de concretagem de 75 cm a armadura superior será complementada e finalizada.

## **7. EXECUÇÃO**

### **7.1. Equipamentos Utilizados**

A lista de equipamentos utilizados na obra abaixo se encontra classificada de acordo com a etapa principal em que cada foi utilizado.

#### **7.1.1. Remoção de Materiais da camada superficial (rochas):**

- *Clamshell* (capacidade 5 m3);
- Trepano (7 ton);
- Guindaste.

#### **7.1.2. Perfuração:**

- Martelo de Cravação ICE 815C;
- Sonda rotativa;
- Perfuratriz tipo Wirth de 24 ton;
- Guindaste;
- Tricone de vídea;
- Haste prolongadora rosqueável;
- Martelo para perfuração em rocha;
- Martelo vibratório hidráulico 22 ton Muller MS-120HHF;
- Macaco extrator hidráulico ou guindaste;
- Tubos de perfuração de aço rosqueável para revestimento;
- Tubos de perfuração de aço rosqueável para enrocamento.

#### **7.1.3. Injeção de argamassa:**

- Bomba para injeção de argamassa;
- Tubo PVC DN 40mm para tremonha;
- Mangote para injeção de argamassa;
- Bola de material maleável (plástico) para limpeza do mangote e tubo "tremie".

#### **7.1.4. Auxilio geral:**

- Guindaste Sany SCC 2500C capacidade 150ton;

- Flutuante principal (Balsa “Topa Tudo” XXIV - 1000 ton) - Dimensões: 30 m x 17 m x 2,5 m;
- Flutuante (Balsa “Topa Tudo” XVIII – 400 ton);
- Botes de auxílio;
- Rebocador 600 Hp;
- Miscelânea (container almoxarifado, container vivencia, banheiros, compressores, equipamentos menores).

## **7.2. Mobilização de equipamentos e construção do canteiro**

Antes do início de todo o processo de construção é necessário a organização da logística da obra, com a construção de canteiros administrativos, de fabricação de peças e avançado, mobilização de todos os equipamentos necessários (com os devidos *checklists* da fiscalização aprovados) e a checagem das estruturas auxiliares existentes (áreas de apoio), a fim de verificar a sua integridade.

No canteiro administrativo, onde são locados os escritórios centrais e parte dos equipamentos e estruturas pré-fabricadas, onde aguardam a ida ao canteiro avançado. A área externa à obra onde serão fabricadas as camisas metálicas, gaiolas de armação, blocos pré-moldados dos capiteis e das pré-lajes, evidenciando os cuidados necessários no momento do transporte à obra.

A área de apoio do PEP 1 é o elo entre o meio terrestre e as obras no mar, onde ficaram o guindaste auxiliar (150 ton) e parte das estruturas pré-moldadas no momento prévio à carga na balsa.

**Figura 53:** Área de apoio no molhe do Píer III (PEP 1)

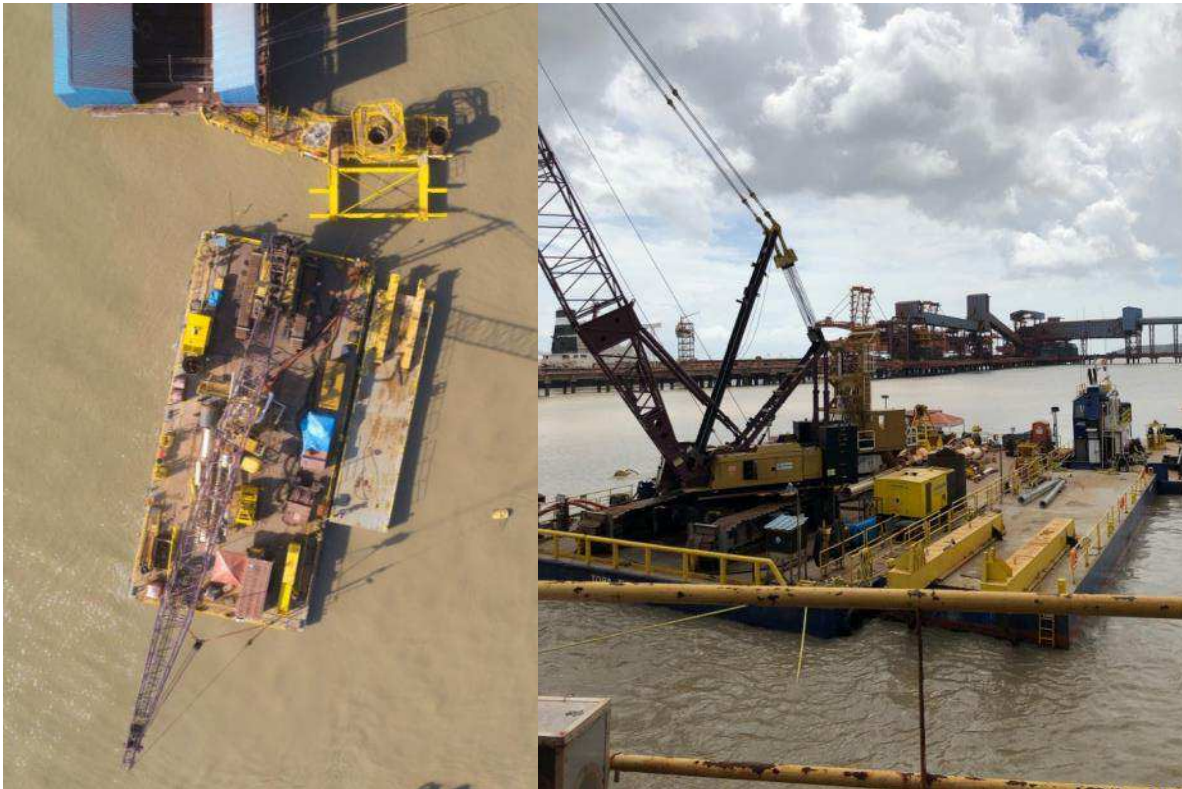


Fonte: Arquivo do projeto (VALE), 2019.

A Figura 53 apresenta a área do canteiro intermediário de onde é feito o carregamento de estruturas na balsa “topa-tudo”, que por sua vez faz o transporte para o flutuante principal de onde a obra é realizada. Notar que do PEP 1 é realizado o embarque de passageiros para a lancha que os transportará à balsa.

O canteiro avançado ou balsa auxiliar (flutuante 1000 ton) é onde fica locado o guindaste principal, de 180 ton de capacidade, que fará o içamento das camisas metálicas e armadura das estacas. O canteiro avançado conta com espaço para a realização de atividades de soldas e reparo de estruturas menores, bem como os componentes da perfuratriz, martelo para cravação e *clamshell*. Além de áreas para uso dos colaboradores como banheiros, container almoxarifado e área de vivência.

**Figura 54:** Vistas superior e frontal da balsa de apoio (canteiro avançado)



Fonte: Autor, 2019.

A Figura 54 apresenta a vista superior do flutuante principal, no qual os equipamentos estão locados conforme o projeto de fundeio definido no item 5.9.

### **7.3. Fundeio da balsa**

Quanto ao procedimento do fundeio, foi realizado com auxílio de topografia para o posicionamento de cada poita de acordo com o projeto (representação na figura 33).

**Figura 55:** Lançamentos das poitas e vista aérea da balsa posicionada



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

#### **7.4. Fabricação dos componentes pré-moldados**

O canteiro para fabricação das peças é externo à obra e lá foram fabricadas e armazenadas as camisas metálicas, as armaduras e as guias das estacas. Com o processo ocorrendo conforme descrito no item 6.1 deste estudo e de acordo com as dimensões do projeto.

**Figura 56:** Camisas metálicas aguardando transporte e na esteira de soldagem, conforme projeto 3250KP-C-22041



Fonte: Autor, 2019

A Figura 56 retrata as camisas metálicas sendo fabricadas em segmentos de 18 m cada, por motivos do comprimento da esteira de fabricação e para que o transporte

pudesse ser realizado sem empecilhos. Além das camisas, as estacas também foram separadas em segmentos de 24 e 20,80 metros, cada, e a união final foi realizada somente no canteiro intermediário. Todavia, como cada barra de aço ( $\varnothing$  32 mm) vem com comprimento de 12 metros, é necessário que para segmento fosse realizada a solda de topo, conforme Figura 57.

**Figura 57:** Soldas de topo nas barras da “gaiola”, conforme projeto 3250KP-C- 51048



Fonte: Autor, 2019

Outros elementos das amaduras das estacas são os “bambolês” (ou anéis de enrijecimento), os espaçadores de concreto e os olhais de içamento das gaiolas, fabricados conforme descrito no capítulo 6.1 deste trabalho e apresentados na figura 58.

Quanto às peças pré-moldadas de concreto: capiteis das estacas e as pré-lajes da plataforma. A fabricação foi feita em um diferente canteiro, mas também seguiu aos procedimentos de segurança e qualidade das especificações técnicas.



**Figura 58:** "Bambolê" da estaca; Espaçador de concreto, raio de 8 cm; Olhal para içamento



Fonte: Autor, 2019

### 7.5. Fixação do gabarito metálico

O gabarito metálico tem por objetivo garantir o correto posicionamento das estacas no momento da cravação e escavação em rocha. Assim, o mesmo precisa estar fixo em uma estrutura inerte que possa garantir a não movimentação do gabarito durante a cravação das estacas. Portanto, o mesmo foi instalado fixo à estrutura do Píer III, conforme a figura 59, para o início do processo de cravação.

**Figura 59:** Processo de instalação da treliça A na estrutura do Píer III



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

**Figura 60:** Montagem concluída dos módulos B1 e C



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

Após a cravação da primeira estaca, as treliças do gabarito serão fixadas na primeira estaca cravada, com módulos típicos.

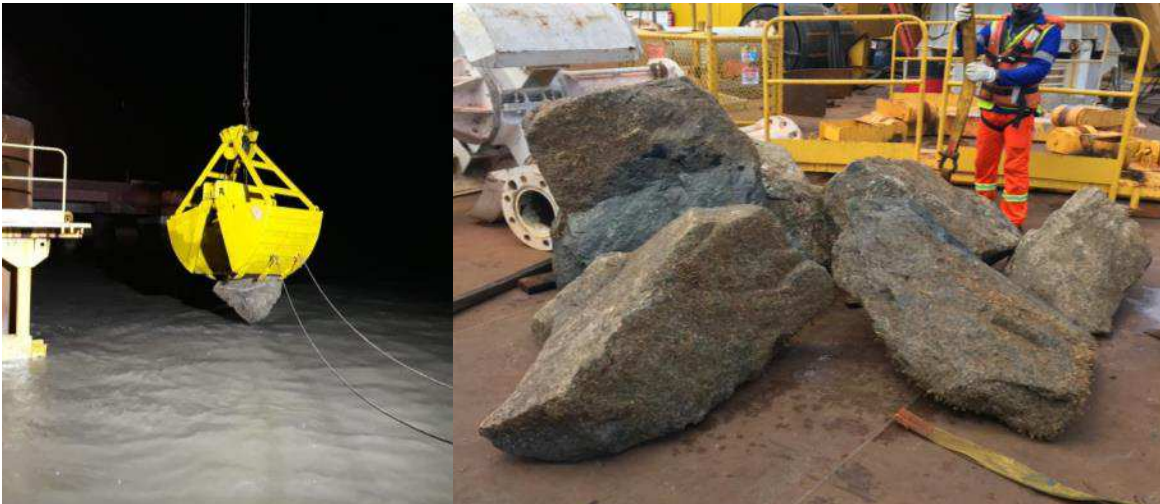
## **7.6. Execução da Fundação – Estacas**

### **7.6.1. Inspeção do leito do mar e Remoção de obstáculos**

Conforme previsto nas sondagens e conhecimento prévio da região o leito do mar apresentaria pedras no caminho da cravação das camisas metálicas, que necessitaram de ser removidas por inteiro ou fragmentadas. Assim, foram realizados mergulhos na região de cravação das estacas para identificar e, se possível, remover materiais que pudessem impedir o processo.

A remoção de pedras, para as primeiras estacas, se deu com utilização de mergulhadores e o guindaste, em que as pedras eram amarradas, içadas e removidas. Posteriormente, foi constatado uma maior eficiência com o *clamshell* de 5 m<sup>3</sup> de capacidade, o que possibilitou uma remoção exponencialmente maior e em menos tempo.

**Figura 61:** Remoção de pedras com uso do Clamshell e rochas removidas posicionadas no flutuante



Fonte: Autor, 2019.

Ao final, foi removida uma quantidade superior a 200 (duzentas) rochas, de diferentes tamanhos, variando entre 300 kg e 1500 kg.

### **7.6.2. Içamento de camisas metálicas**

Do canteiro intermediário as camisas metálicas são carregadas na balsa auxiliar (TT XVIII) com uso do guindaste de 150 ton. A balsa “Topa-tudo” XVIII fará o transporte dos envelopamentos metálicos para junto do flutuante principal (balsa TT XXIV), de onde os mesmos serão verticalizados e posicionados no gabarito para início da cravação.

**Figura 62:** Posicionamento da camisa na blasa TT XVIII



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

Para que fosse possível o transporte, as camisas metálicas foram fabricadas com as alças de içamento, ou “olhais” (Figura 63) locados no decorrer da peça.

**Figura 63:** Olhais das camisas metálicas



Fonte: Autor, 2019.

Assim que a balsa TT XVIII estiver junto do flutuante principal, o guindaste (180 ton) fará a verticalização e o posicionamento da camisa metálica no seu devido gabarito, neste sendo realizado o travamento.

**Figura 64:** Verticalização da camisa metálica e deslocamento para o gabarito



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

**Figura 65:** Travamento da camisa no gabarito e colaboradores retirando as pinças de içamento



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

Na figura 65 destaca-se o transporte dos colaboradores para o gabarito sendo realizado por meio do cesto para içamento, o mesmo é movimentado com uso do guindaste e será também utilizado nas atividades de arrasamento da camisa. Destacar que durante o processo e a realização de atividades os colaboradores estão providos de todo o EPI necessário, em especial o colete salva-vidas classe IV e a cinta para trabalho em altura.

### **7.6.3. Cravação das camisas e escavação da rocha**

Conforme especificado no capítulo 6.2 deste trabalho, o processo de cravação começa após a locação e travamento da camisa no gabarito, assim que a mesma se apoia no leito do mar, com a utilização do martelo vibratório e do trépano. Contudo que as rochas do antigo molhe foram removidas da trajetória da camisa, a camada a seguir é composta de pedras de enrocamento e areia. Assim, o martelo vibratório é utilizado para a cravação, que segue até ser atingida a outra camada de pedras de grande porte, porém, ainda não é camada final.

**Figura 66:** Cravação da camisa com utilização do martelo vibratório



Fonte: Autor, 2019.

Na segunda camada de pedras inicia-se o processo de degradação das rochas com auxílio do trepano (que é um peso de 7 ton com ponta cortante). O mesmo é levantado pelo guindaste e solto no interior da camisa metálica para que no impacto as pedras sejam fragmentadas (Figura 67).

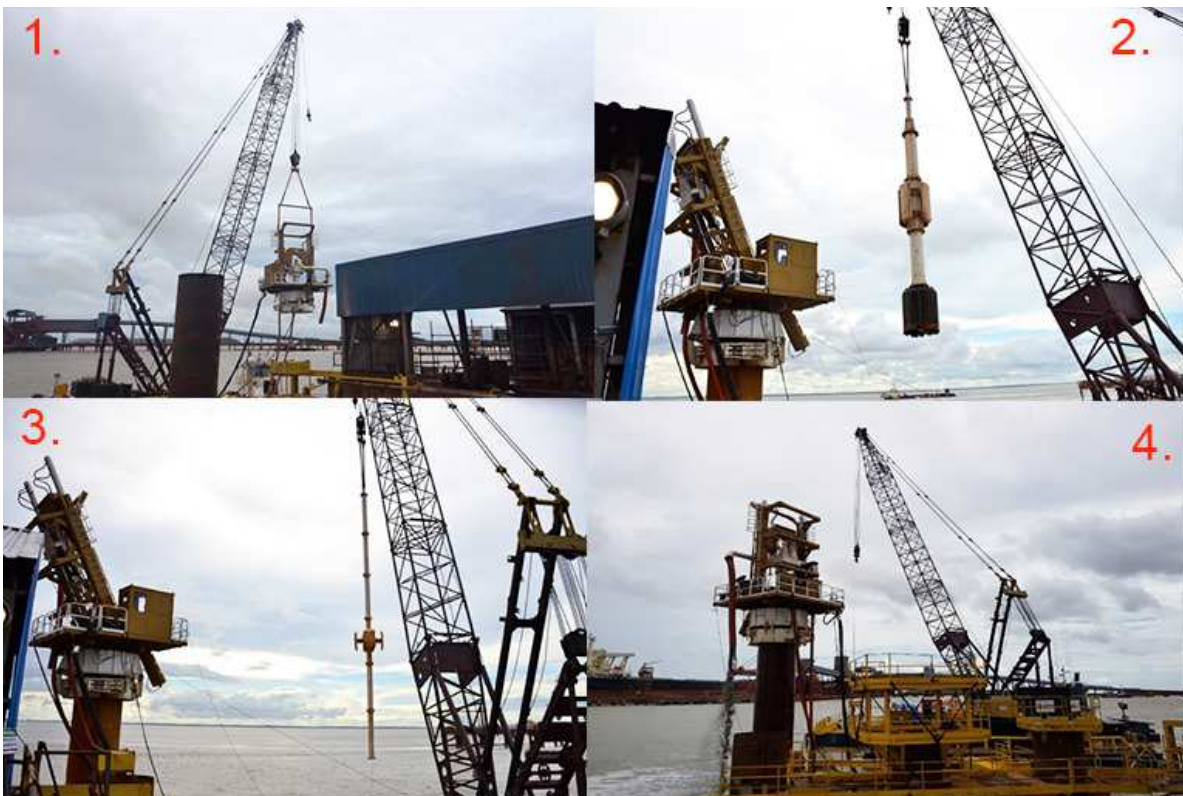
**Figura 67:** Içamento de trepano para desagregação de pedras sob a face da camisa e o trépano de 7 ton



Fonte: Autor, 2019.

Em sequência, com objetivo de vedação da face da camisa metálica, o material desagregado foi removido com utilização do sistema de *air lift* da perfuratriz. Assim, deste ponto em diante foi necessário o uso da perfuratriz Wirth BUMA nas camadas de material argiloso e pedra de enrocamento, até a estabilização da camisa. Em seguida foi realizada a escavação em rocha com a perfuratriz até atingir a cota do pino da estaca, no mínimo 9 metros. Destaque para a necessidade de corte na camisa metálica para viabilizar a instalação da perfuratriz, tal parte arrasada será soldada *in loco* posteriormente à conclusão da escavação.

**Figura 68:** MONTAGEM DA PERFURATRIZ (1. Posicionamento da perfuratriz; 2. Instalação da broca; 3. Haste com espaçador; 4. Perfuratriz em funcionamento)



Fonte: Autor, 2019.

O procedimento de montagem da perfuratriz está indicado na figura 68, onde a sequência apresenta os componentes do equipamento sendo instalados em ordem.

Detalhe para as hastes de prolongamento da broca que são instaladas conforme a escavação avança.

Durante a escavação são coletadas amostras do material escavado por meio do sistema de *airlift* da perfuratriz, a fim de mapear a composição das camadas e a sua aderência ao projeto (Figura 69).

**Figura 69:** Perfuratriz Wirth durante escavação para estaca e “balde” para coleta de sedimentos do fundo.



Fonte: Autor, 2019

Contudo, apesar de o procedimento ser padronizado, as condições do material e os obstáculos diferiram para cada estaca, bem como o prazo necessário para a sua finalização.

Destaque para a necessidade de batimetria para aferimento das cotas do topo, face da camisa e da escavação.

#### **7.6.4. Fixação de armaduras**

Terminada a escavação foi locada a plataforma de “clipagem”, ou emenda, dos módulos de armação. Conforme são fabricados em duas partes, uma de 24 e outra de 20,80 metros, primeiramente é feita o assentamento do primeiro módulo da gaiola,



depois o segundo, parando na cota da plataforma para a emenda dos dois. Assim, a armadura encontra-se instalada e aguardando a concretagem.

**Figura 70:** Instalação de Armadura



Fonte: Autor, 2019.

A Figura 70 apresenta os procedimentos, respectivamente: de posicionamento da plataforma de clipagem; movimentação do 1º módulo da armação; assentamento do 1º módulo; movimentação do 2º módulo; emenda da camisa.

Destaque para a necessidade de pré-arrasamento da camisa para acesso e posicionamento da armação no seu interior, com cortes feitos na vertical para a passagem das alças de içamento da gaiola.

#### **7.6.5. Concretagem das estacas**

Primeiramente, tão quando a armação está locada no interior da camisa é removida a plataforma de clipagem e instalada a de concretagem. Segundo, num momento anterior ao início da concretagem é aferido a cota da escavação, a fim de verificar a integridade do furo escavado. Posteriormente são feitos cortes na camisa para o expurgo do concreto (janela de 300x250mm), e é montado o tubo “tremie”, ou termonha, no interior da camisa metálica, num comprimento de 42 metros.

**Figura 71:** Concretagem da estaca E07



Fonte: Relatório Semanal da obra (PIACENTINI, 2019).

Assim, tem se início a concretagem, com os caminhões betoneira posicionados no Píer III (Figura 71). Foi criada uma tubulação para o transporte do concreto dos caminhões até o o ponto em que o mangote é conectado e içado pelo guindaste da balsa para concretagem da estaca em questão. Um ponto de atenção é a realização de ensaios para aferimento dos parâmetros do concreto, em campo foi realizado *slump* (abatimento) entre  $22 \pm 3$  cm e foram preparados corpos de prova para teste de resistência (Figura 72).

O procedimento da concretagem seguiu conforme descrito no capítulo 6.6 deste trabalho. Sendo utilizada a tremonha no interior da camisa para injeção do concreto, até que o mesmo transbordasse pelas janelas de expurgo, removendo todo o material com

impurezas da estrutura da estaca. Ao final, a quantidade média lançada por estaca foi de 135 m<sup>3</sup> cada, com expurgo médio de 5 m<sup>3</sup>.

**Figura 72:** Realização da concretagem da estaca E07



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 73:** Ensaio de abatimento e preparo de corpos de prova



Fonte: Autor, 2019.

A fim de garantir a fluidez e auto-adensamento do concreto, uma vez que o mesmo não será vibrado, fez-se uso de aditivos superplastificantes, no caso o Masterglénium 51, na proporção de 6 litros para 10 m<sup>3</sup> de concreto. Conforme cálculo realizado pela empresa de concretagem.

## 7.7. Execução da Superestrutura – Plataforma

Durante a execução da obra, foi constada uma possibilidade de tornar o método executivo da plataforma mais eficiente, com utilização de painéis pré-moldados de concreto como forma para a plataforma. Assim, foram seguidos os projetos apresentados no capítulo 6.7 deste trabalho. Primeiramente foram removidos os gabaritos das estacas e realizados os cortes nas camisas metálicas e nas estacas para que estivessem com as cotas adequadas de projeto.

**Figura 74:** Processo de remoção dos gabaritos



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 75:** Capitéis aguardando transporte e após terem sido instalados



Fonte: Autor, 2019.

Segundo foram acoplados os capitéis em concreto pré-moldado nas estacas (Figura 75). Posteriormente, cada uma das 16 peças da pré-laje da plataforma é posicionada. As peças são compostas de um painel vertical e um horizontal, ambos com 20 cm de espessura, e constam com as esperas da armação e emendas metálicas para que sejam soldados aos perfis adjacentes.

**Figura 76:** Locação das peças da pré-laje do dolfim



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 77:** Montagem da armação da plataforma e vista das pré-lajes apoiadas nos capitéis



Fonte: Autor, 2019.

Por último, com todos os painéis posicionados, procede-se para a armação e concretagem das etapas da plataforma do dolfim. Contudo, até a conclusão deste trabalho, a armação da primeira fase da plataforma ainda não estava concluída.

## 8. DIFICULDADES ENCONTRADAS

A execução de obra em ambiente marítimo é cercada de dificuldades e obstáculos que precisam ser superados para a garantia de entrega da empreitada com qualidade e segurança. Na obra do dolfim destacam-se as seguintes adversidades:

- Corrente marítima de grande magnitude (2,57 m/s ou 5 nós), implicando em restrições para operação de guindastes embarcados. Uma vez que a alta oscilação das ondas é um empecilho para a precisão na movimentação de objetos com segurança. Assim, para garantir a trabalhabilidade as movimentações de carga com guindaste da balsa foram realizadas nos intervalos de estofa da maré.

- A incógnita em relação às pedras do antigo molhe que se encontravam na trajetória da cravação das camisas. Apesar de que a utilização do *clamshell* de 5 metros cúbicos na terceira estaca (E01) ter se mostrado um ganho em eficiência, a recorrência da remoção e quantidade de pedras foi um desafio para cumprimento do prazo estipulado.

- Durante as variações da maré de preamar e baixamar ocorre tensiamento no cabo dos guinchos das poitas, fazendo com que as mesmas se desloquem da posição indicada no plano de fundeio, podendo até se projetar para a trajetória das camisas metálicas.

- O processo construtivo do dolfim foi elaborado para a mínima interferência na operação do Píer III. Todavia, o tráfego de navios para atracamento e a subsequente operação de carregamento no Píer III foi um obstáculo para execução. Como exemplo o procedimento de concretagem, o qual demandou uso de parte da área do píer, e o grande fluxo de caminhões betoneira na área.

- Ventos e chuvas, apesar da sazonalidade influenciam nos trabalhos em altura, consequentemente, no ritmo e nas produtividades das obras.

## 9. LIÇÕES APRENDIDAS

Realçar que da cravação da primeira estaca para a última ocorreu um ganho considerável na eficiência da execução, configurando o começo como a “curva de aprendizagem”. Uma vez que ficam evidentes as discrepâncias do previsto para a situação encontrada em campo. Decerto, a cravação da primeira estaca levou um total de 21 dias até o final da concretagem, quanto as três últimas somente 5 dias cada. Parte se dá pela baixa eficácia e incerteza nos resultados na utilização única do trépano na degradação de pedras, que foi corrigida ao final para a relocação da camada superficial de rochas pelo *clamshell*. Assim, percebe-se que o método foi sendo adequado conforme a execução da obra procedeu, configurando a curvada de aprendizagem.

Outro foi a utilização do guindaste e balsa adequados: apesar de ter sido previamente visualizada a cravação das camisas metálicas na água por meio de um guindaste treliçado sobre esteira 250 ton (SANY SCC2500) ou similar, embarcado sobre balsa, de capacidade 600 toneladas e dimensões aproximadas 17x30m. A equipe de implantação optou por utilizar um guindaste Manitowoc 2250, porém sobre uma balsa com capacidade de 1.000 ton. Pois as correntezas que atingem velocidade de 5 nós, marés com amplitudes média de 4,6 m, podendo atingir 7,2 m (sizíguas) e intervalos de 6 horas devem ser levados em consideração.

A não realização de sondagem para a área específica da obra representará um ponto crítico para o cumprimento das atividades em tempo hábil e no custo previsto. Uma vez que a presença indesejada de obstáculos para execução da obra pode onerar custo e prazo da mesma.

A vantagem que foi a substituição de formas *in loco* para a utilização de painéis pré-moldados, uma vez que são executados simultaneamente à da obra e somente necessitam ser encaixados no local, apresentando assim um ganho em eficiência.

## 10. CONCLUSÃO

Cada obra é um processo de aprendizado, onde se projeta e planeja com máxima cautela, mas ainda assim surgem imprevistos ou situações específicas no momento da execução. Assim, é necessário que os processos sejam adaptados e novas soluções sejam desenvolvidas a fim de não prejudicar a qualidade da obra, não onerando o custo total da empreitada, e nem gerando acréscimo indesejados de prazo.

A obra do dolfim apresentou diversos desafios durante a empreitada, mas nenhum foi capaz de prejudicar a execução da obra com segurança e dentro do prazo estipulado. A fundação levou 67 dias (a previsão inicial era de 82 dias) para ser concluídas, isto é, as 8 estacas concretadas, e a tendência é que a superestrutura levará outros 30 dias para a conclusão da última fase da plataforma. Assim, a conclusão da parte civil da empreitada ficou em 15 dias inferior ao planejado, o que representa a eficiência do método construtivo utilizado.

Quanto à segurança da obra, o fator considerado para dimensionamento das estruturas (somente considerada metade da capacidade resistivo da estaca e ainda um coeficiente minorante da resistência de 1,4), seguido de um método executivo que obedece aos preceitos das normas e conhecimentos acadêmicos, somados ao monitoramento da execução, vem por garantir que a estrutura não venha a apresentar falhas no decorrer da sua vida útil.



## 11. REFERENCIAS

ABECE. **II Ponte sobre o Rio Orinoco.** Disponível em: < <http://www.abece.com.br/web/download/pdf/simposio/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20Roberto%20Alves.pdf> >. Acesso em: 13 de junho de 2019.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia portuária.** São Paulo: Blucher, 2013.

BOTTER, RUI CARLOS. **Transportes Marítimo e Fluvial.** Disponível em: < [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3457040/mod\\_resource/content/1/Aula\\_9\\_PNV\\_3411\\_2017.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3457040/mod_resource/content/1/Aula_9_PNV_3411_2017.pdf) >. Acesso em: 14 de dezembro de 2018.

CAPUTO, Homero. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra.** 6. Ed. Rio de Janeiro, 1987.

CSL MARINHARIA. **Cabos Náuticos: Espias.** Disponível em: < <http://cslmarinharia.com.br/produtos/detalhes/espias> > Acesso em 14 de dezembro de 2018.

GOVERNO DO BRASIL. **Definições de termos e conceitos técnicos utilizados neste anuário.** Disponível em: < <http://antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Portuario2009/termos.htm> >. Acesso em: 14 de dezembro de 2018.

NAVIOS E PORTOS. **Glossários.** Disponível em: < <http://www.navioseportos.com.br/site/index.php/uteis/glossarios> >. Acesso em: 14 de dezembro de 2018.

NETO, JOSÉ BRISSAC. **Estacas Escavadas, roteiro para dimensionamento e metodologia executiva para utilização nas fundações de novo Berço Sul Pier IV, para embarque de minério de ferro na unidade da VALE em São Luís-MA.** São Luís, 2012.

OSCEANIA UFRJ. **Arranjo Geral: Sistema de Fundeio.** Disponível em: < [http://www1.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/atuais/DanielQ+Leticia/relat1/fundeio.htm](http://www1.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/DanielQ+Leticia/relat1/fundeio.htm) >. Acesso em: 07 de junho de 2019.

PIACENTINI DO BRASIL. **Relatório Semanal de Atividades.** 2019

PLANAVE S.A. **Projeto Detalhado – Dolfim de Amarração do Píer III – Memória de Cálculo do Estaqueamento.** 2017.

PLANAVE S.A. **Projeto Detalhado – Dolfim de Amarração do Píer III – Memória de Cálculo da Plataforma.** 2017.

PLANAVE S.A. **Projeto Detalhado – Dolfim de Amarração do Píer III – Relatório Geotécnico para implantação do novo Dolfim.** 2017.

PORTOS DO PARANA. **Dicionário Básico Portuário.** Disponível em: < <http://www.portosdoparana.pr.gov.br/arquivos/File/dicionario2010.pdf>. > Acesso em 14 de dezembro de 2018.

RIOFIL CORPORATION. **Projects: JGSOC Jetty Modification Works – (54,000 – 150,000 DWT).** Disponível em: < <https://www.riofilcorporation.com/projects/jgs-jetty-modification-works-2/> >. Acesso em: 13 de junho de 2019.

SALGADO, R. **THE ENGINEERING OF FOUNDATIONS.** 1. ed. New York, NY: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.

SOARES, M.; FERREIRA, V. **Grande Dicionário Enciclopédico Volume XII.** Alfragide: Clube Internacional do Livro, 2000.

SOLIDO ENGENHARIA. **Dolfim no porto Ponta da Madeira: Sistema de fundeio da balsa.** 2018.

TABUA DE MARÉS. **Tábua de marés e solunares: São Luís.** Disponível em: < <https://tabuademares.com/br/maranhao/sao-luis> >. Acesso em: 13 de junho de 2019.

TOMLINSON, M.; WOODWARD J. **Pile Design and Construction Practice.** 5. ed. Abingon: Taylor & Francis, 2008.

VELLOSO, D.; LOPES, F. **Fundações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.