

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA
MESTRADO EM OCEANOGRAFIA

Rogério Santos Pestana

Análise das tensões em cabos de amarração: um estudo no Terminal Marítimo de
Ponta da Madeira no Píer 4 em São Luís - MA

São Luís
2024

Rogério Santos Pestana

Análise das tensões em cabos de amarração: um estudo no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira no Píer 4 em São Luís - MA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr.(o) Audálio Rebelo Torres Júnior.

**São Luís
2024**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Santos Pestana, Rogério.

Análise das Tensões Em Cabos de Amarração: Um Estudo No
Terminal Marítimo de Ponta da Madeira No Pier 4 Em São
Luís - Ma / Rogério Santos Pestana. - 2024.

65 p.

Orientador(a): Audalio Rebelo Torres Junior.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Oceanografia/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São
Luís, Ma Ufma, 2024.

1. Tensões. 2. Manobras. 3. Desatracação. 4. . 5.
. I. Rebelo Torres Junior, Audalio. II. Título.

**ATA DE DEFESA PÚBLICA DE QUALIFICAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

Aos ____ dias do mês de _____ de 2024, às _____ horas, foi realizada, Sala Virtual via Web Conferência, a defesa pública de qualificação de mestrado em Oceanografia (PPGOceano/UFMA) do aluno Rogério Santos Pestana, referente à dissertação de mestrado intitulada **Análise das tensões em cabos de amarração**: um estudo no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira no Píer 4 em São Luis - MA.

Após a apresentação do documento e arguição pelos membros da BANCA EXAMINADORA, o mestrando foi considerado: () APROVADO () REPROVADO
Encerrados os trabalhos, o (a) Orientador (a) lavrou a presente ATA que, após lida e aprovada, recebeu a assinatura dos membros da Banca. BANCA EXAMINADORA:
ASSINATURA:

Orientador (a) PROF (a). Dr (a). _____
_____ Universidade _____

Membro Interno ao Programa PROF (a). Dr (a). _____
_____ Universidade _____

Membro Interno ao Programa PROF (a). Dr (a). _____
_____ Universidade _____

São Luís, ____ de _____ de _____

AGRADECIMENTOS

Aos professores e à coordenação, meu profundo agradecimento por todo o apoio, orientação e dedicação ao longo desta jornada acadêmica. Suas palavras e ensinamentos foram fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

À minha família, em especial ao meu pai, por todo o amor, incentivo e compreensão. Suas palavras de encorajamento foram a luz que me guiou nos momentos mais desafiadores.

A todos vocês, meu sincero agradecimento por fazerem parte desta conquista.

RESUMO

Situado no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, o Píer 4 possui um dos mais modernos sistemas de amarração de navios. Isso se faz necessário devido às fortes correntes e à grande variação de marés locais. Desenvolvido para manter navios atracados e em segurança durante suas operações, esse sistema combina as amarrações de bordo, cabos que saem do navio para terra, e a amarração de terra, guinchos de onde são enviados os cabos de terra para bordo. Este presente material trata dos assuntos relacionados às cargas de tensão aplicadas aos cabos dos navios, focando no monitoramento e controle das amarrações e na comparação desta com os procedimentos operacionais específicos. O estudo tem como proposta, analisar e quantificar estas tensões durante a estadia de navios no Píer 4 do TMPM, visando otimizar as práticas de amarração, o cumprimento de normas, otimizar a eficiência operacional e garantir a segurança das operações portuárias. A metodologia envolve a coleta de dados das tensões em cabos de amarração por meio de instrumentação adequada e análises estatísticas. Também considera a revisão de boas práticas portuárias e regulamentos de segurança marítima. Esperasse que os resultados da pesquisa levantem informações relevantes para o Terminal, permitindo melhoria nas operações do sistema de amarração, assim como no monitoramento em tempo real dos cabos, o que ajuda na tomada de decisão quando os ajustes necessários precisam ser feitos. Isso contribui para minimizar o risco de acidentes, prevenir danos à infraestrutura e à embarcação, além de evitar atrasos operacionais.

Palavras-chave: manobras, tensões, cabos de amarração, terminal marítimo, atracação, desatracação, segurança portuária.

ABSTRACT

Located at the Ponta da Madeira Maritime Terminal, Pier 4 has one of the most modern ship mooring systems. This is necessary due to the strong currents and the wide variation in local tides. Developed to keep ships attracted and safe during their operations, this system combines onboard moorings, cables that leave the ship to land, and shore moorings, winches from which cables are sent from land to board. This material deals with issues related to tension loads applied to ships' cables, focusing on monitoring and controlling moorings and comparing this with specific operational procedures. The study aims to analyze and quantify these expenses during the stay of ships at Pier 4 of the TPM, improving mooring practices, compliance with standards, improving operational efficiency and ensuring the safety of port operations. The methodology involves collecting data on tensions in mooring cables through detailed instrumentation and statistical analyses. Also consider reviewing good port practices and maritime safety regulations. It is expected that the research results will provide relevant information for the Terminal, allowing improvements in the operations of the mooring system, as well as real-time monitoring of the cables, which helps in decision-making when necessary, adjustments need to be made. This helps to minimize the risk of accidents, prevent damage to infrastructure and shipping, and avoid operational delays.

Keywords: maneuvers, tensions, mooring cables, maritime terminal, berthing, unberthing, port security.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Siglas dos conjuntos de cabos utilizadas, na figura 3.....	17
Quadro 2: Esquema de cores de faixas de tensão dos cabos cadastrados no supervisorio	18
Quadro 3: Prós e contras dos cabos High Modulus Polyethylene (HMPE)	27
Quadro 4: Quantidade de cabos exigida a depender de porte do navio.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Projeção de tensão.....	38
Gráfico 2: Somatório individual das tensões por cabo.	39
Gráfico 3: Somatório por cabo – Terra e Bordo.....	40
Gráfico 4: Intensidade de corrente x nível de maré.....	41
Gráfico 5: Lançantes	41
Gráfico 6: Espringues.....	42
Gráfico 7: Travesses	43
Gráfico 8: Dolfin 08 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.....	44
Gráfico 9: Dolfin 09 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.....	44
Gráfico 10: Dolfin 11 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.....	45
Gráfico 11: Dolfin 12 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.....	45
Gráfico 12: Dolfin 13 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.....	46
Gráfico 13: Dolfin 14 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.....	46
Gráfico 14: Momento de instabilidade no Dolfin 09.	48
Gráfico 15: Dolfin 09 - Momento de Instabilidade.....	49
Gráfico 16: Totalizador do carregamento	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Navios ValeMax. Fonte: Portal Vale.	14
Figura 2: Modelo reduzido da embarcação utilizado para testes.....	15
Figura 3: Exemplo de plano de amarração e as siglas dos conjuntos de cabos utilizadas.	16
Figura 4: Condição dos cabos de terra de HMPE.	19
Figura 5: Píer 4 – Terminal Marítimo Ponta da Madeira. Fonte: Vale, 2024...	20
Figura 6: Extensão do Píer 4 - Berços Norte e Sul.....	21
Figura 7: Força Gravitacional entre os astros e formação das marés.	22
Figura 8: Amplitudes de Maré.....	22
Figura 9: Representação dos dados do Marégrafo da Vale.	23
Figura 10: Localização do marégrafo do Píer 4.....	24
Figura 11: Amarração de Cargas High Modulus Polyethylene (HMPE).	26
Figura 12: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte - Terminal Marítimo de Ponta.....	28
Figura 13: Desenho de navio com seus cabos de lançantes.	28
Figura 14: Desenho de navio com seus cabos de travesses.	29
Figura 15: Desenho de navio com seus cabos de espringues.	29
Figura 16: Cabos Calabrotes.....	30
Figura 17: Cabo retinida de bitola.....	30
Figura 18: Cabo Mensageiro.	31
Figura 19: Atracação no Terminal Marítimo Ponta da Madeira.	34
Figura 20: Cabos de terra.....	35
Figura 21: Imagem ilustrativa dos cabos lançados.....	35
Figura 22: Exemplo de Plano de Amarração e as siglas dos conjuntos de cabos utilizadas.	36
Figura 23: Sistema de Amarração Píer 4 – CCA.	38
Figura 24: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte -Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.	51
Figura 25: Ciclo de carregamento	51
Figura 26: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte -Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.	52
Figura 27: Ciclo de carregamento	53
Figura 28: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte do Terminal Marítimo	

de Ponta da Madeira 54

Figura 29: Ciclo de carregamento 54

ABREVIATURAS E SIGLAS

TMPM - Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

OGMO - Órgão Gestor de Mão de Obra

TUP - Terminal de Uso Privado

DIEESE - Departamento Intersindical De Estatística E Estudos Socioeconômicos

GSC - Global Supply Chain

PCS - Port Community System

FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

PRO - Procedimentos Operacionais

CCA - Centro de Controle de Amarração

HMPE - High Modulus Polyethylene

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler

CTD - Conductivity, Temperature, and Depth

UV – Ultravioleta

EMAP – Empresa Maranhense de Portos

FCFS - First Come, First Served

NOR - Notice of Readiness

NOA - Notice of Arrival

LOA - Length of Overall

DUV - Documento Único Virtual

BL's - Bill of Lading

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1	Operações portuárias e terminais marítimos	9
2.2	Operadores portuários.....	11
2.3	Modernização dos portos	12
2.4	Navios e classes de navios	14
2.5	Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica (FCTH).....	15
2.6	Procedimentos operacionais	17
3.	OBJETIVOS.....	19
3.1	Geral	19
3.2	Específicos.....	19
4.	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO.....	20
4.1	Terminal marítimo de Ponta da Madeira e suas particularidades	20
4.2	Marés de corrente de marés.....	21
5.	METODOLOGIA	24
6.	CABOS DE AMARRAÇÃO.....	26
6.1	Princípios gerais de amarração de navios	27
6.1.1	Lançantes.....	28
6.1.3	Espringues	29
6.2	Calabrote.....	30
6.3	Retinida de bitola.....	30
6.4	Mensageiro de bitola média.....	31
7.	ATRACAÇÃO E DESATRACAÇÃO DE NAVIOS	31
7.1	Manobras de atracação ou amarração de navios	33
7.2	Manobras de desatracação ou desamarração de navios.....	35
7.3	Planos de amarração	36
8.	SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE TENSÃO NO PÍER 4 .	37
9.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
10.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

A amarração do navio ao cais é parte fundamental para a realização de operações seguras de embarque e desembarque, de modo a garantir a segurança das embarcações, com relação à estrutura do cais, aos equipamentos do terminal e, principalmente, às pessoas envolvidas nas operações.

Nesse contexto, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), destaca-se como importante ponto de entrada e saída de produtos e matérias-primas, desempenhando um papel estratégico nas operações logísticas do País. Esse terminal é responsável pelo embarque de minério de ferro do tipo fino, granulado, pelota e manganês, cuja operacionalidade reflete na economia nacional.

Para garantir a eficiência e a segurança das manobras de atracação e desatracação de navios nesse terminal, é necessário compreender os conceitos e processos envolvidos nessas operações. A manobra de atracação, por exemplo, envolve a chegada de uma embarcação ao píer e sua fixação segura ao cais, enquanto a desatracação consiste na partida do navio, desprendendo-o do terminal de forma segura. Durante essas operações, os cabos de amarração desempenham um papel crítico, garantindo que o navio permaneça estável e em condições seguras no cais.

Nessa perspectiva, com a finalidade de contribuir para o avanço do conhecimento na área de operações portuárias, promovendo práticas mais seguras e eficientes, o estudo aborda aspectos importantes, tais como: explorar o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira e seu papel na economia nacional, destacando sua importância estratégica e contribuição para o comércio exterior.

Além disso, o trabalho irá fomentar o conhecimento dos conceitos e procedimentos envolvidos nas manobras de atracação e desatracação de navios, ressaltando a relevância da amarração segura nessas operações e fornecer uma visão detalhada do Píer 4, onde o estudo comparativo das tensões nos cabos de amarração foi realizado, incluindo suas características físicas e funcionais

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são abordados os temas que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho, fortalecendo a compreensão necessária sobre o funcionamento dos terminais marítimos e operações portuárias, voltados para a análise das tensões em cabos de amarração. Alguns dos aspectos abordados são: operações portuárias e terminais marítimos, operadores portuários, modernização dos portos, navios e classes dos navios.

2.1 Operações portuárias e terminais marítimos

Os portos desempenham um papel de extrema importância na infraestrutura de transporte de mercadorias, conectando mercados locais e globais (Bottasso et al., 2014; Ha et al., 2017). A infraestrutura de transporte na qual os portos estão inseridos é um fator-chave para o desenvolvimento econômico, a coesão territorial e a redução das disparidades econômicas, como observado por Bottasso et al. (2014).

Em relação às operações portuárias, o custo desempenha um papel crucial na competitividade e atratividade dos portos, sendo o principal fator que influencia a formação das tarifas portuárias, conforme destacado por Bandara e Nguyen (2016). Yang & Chen (2016) também salientam que as tarifas portuárias são um elemento crucial na competição entre os portos, influenciando a escolha das empresas de navegação.

É importante ressaltar que o modelo tarifário do sistema portuário brasileiro foi inicialmente regulamentado pelo Decreto nº 24.508/1934, estabelecendo as taxas portuárias e sua uniformização. Esse decreto definiu que os serviços e vantagens oferecidos pelo comércio e navegação nos portos organizados devem ser retribuídos com o pagamento de valores cobrados pelas administrações desses portos, com base em taxas específicas para cada porto, definidas em uma tarifa aprovada por portaria ministerial (Brasil, 1934).

No entanto, no contexto brasileiro, as tarifas portuárias são frequentemente estabelecidas e revisadas sem a adoção de um sistema gerencial de custos formal (Arnold, 1987; Rocha; Martins; Silva, 2014). Essa falta de um sistema estruturado, aliada a uma variedade de formas e modelos de

cobrança, resulta em um sistema tarifário confuso e ineficiente (Lunkes et al., 2014). Além disso, observa-se a escassez de discussão acadêmica sobre o modelo de tarifação aplicado nos portos brasileiros (Lunkes et al., 2014).

Embora os custos portuários sejam frequentemente abordados na literatura, a discussão específica sobre modelos de gestão de custos, seu impacto na cadeia logística e na competitividade portuária é menos comum (Marlow; Paixão Casaca, 2003; Tongzon, 2009; Saurí; Serra; Martín, 2011; Talley; Ng; Marsillac, 2014; Ha et al., 2017).

Os portos passaram por diferentes gerações de desenvolvimento, cada uma relacionada ao seu papel nas cadeias de suprimento. Até 1960, na 1ª geração, os portos estavam focados principalmente nas funções tradicionais de embarque e desembarque de mercadorias. A 2ª geração, até 1980, adicionou a integração de modos de transporte a essas funções tradicionais. Na 3ª geração, as funções de inteligência logística se tornaram proeminentes, agregando valor por meio da exploração de economias de escala e estratégias de prestação de serviços que ultrapassam as fronteiras territoriais dos portos (De Sousa; Neto; Kliemann; Campagnolo, 2018).

Concomitantemente a essas mudanças, houve avanços tecnológicos nas categorias de navios, com embarcações maiores, mais avançadas e especializadas. Isso demandou adaptações nos terminais portuários, que precisaram adotar equipamentos de manuseio de mercadorias avançados e incorporar tecnologias de informação modernas. Essa transformação resultou em um novo perfil de trabalhador portuário, mais qualificado, porém em menor número do que no passado.

Essas transformações, exemplificadas pela revolução do contêiner, afetam as cidades portuárias de várias maneiras, trazendo benefícios como o aumento das atividades econômicas, mas também ônus, como o aumento do tráfego local, a poluição e as interferências na vida urbana. Portanto, é essencial adotar uma abordagem sistêmica e integrada ao considerar os subsistemas que compõem os portos, incluindo o acesso terrestre, as áreas de armazenagem, o embarque e desembarque de cargas, bem como o acesso aquaviário, que engloba a recepção de navios, o encaminhamento no canal de acesso, as operações de atracação e desatracação, e o retorno dos navios ao mar

2.2 Operadores portuários

No Brasil, a prestação de serviços de armazenagem, transbordo de cargas e operações portuárias foi transferida para o setor privado após a promulgação da Lei 8.630/93 (Brasil, 1993). Isso aconteceu por meio de concessões de arrendamento, após um processo de licitação, e permitiu operadores independentes que se cadastraram nas administrações portuárias em portos públicos (Sousa, 2017). Como resultado dessa lei, os trabalhadores da capatazia dos portos foram transferidos para o Órgão Gestor de Mão de Obra (OGMO) (PORTO DE SANTOS, 2021e), enquanto antes disso, a organização e alocação desses trabalhadores portuários eram de responsabilidade dos sindicatos.

A Lei nº 12.815 de 2013, que atualmente rege o sistema portuário nacional, estabelece que o operador portuário é o principal responsável pela coordenação das operações portuárias, que devem ser realizadas por meio de trabalhadores portuários eventuais e vinculados (Brasil, 2013). A remuneração dos trabalhadores eventuais varia de acordo com o tipo de carga a ser movimentada (Aguiar, Junqueira, Freddo, 2006), enquanto as prestadoras de serviços no Terminal de Uso Privado (TUP) têm mais liberdade para gerenciar a mão de obra de acordo com suas necessidades (Maciel et al., 2015).

No Porto de Santos, por exemplo, o número de trabalhadores envolvidos na movimentação de contêineres com equipamentos mecanizados/automatizados diminuiu significativamente ao longo do tempo. Em 1997, um grupo de estivadores era composto por cerca de dez trabalhadores, mas esse número foi reduzido gradualmente, chegando a cinco trabalhadores para operações com guindastes MHC e quatro trabalhadores para operações com Portainers em 2012 (Meirinho; Silva, 2018). Isso reflete uma mudança nas operações portuárias ao longo das décadas.

O trabalho portuário envolve várias funções, incluindo capatazia, estiva, conferência de carga, conserto de carga, bloco e vigilância de embarcações, de acordo com a definição legal (Brasil, 2013). Nos portos organizados, essas atividades devem ser executadas por trabalhadores portuários com contratos por prazo indeterminado e trabalhadores portuários eventuais (Brasil, 2013). A maioria dos trabalhadores registrados ou cadastrados nos OGMOs são

estivadores, mas essa categoria inclui várias ocupações relacionadas ao trabalho portuário (Departamento Intersindical De Estatística E Estudos Socioeconômicos [DIEESE], 2015).

Quanto à escolaridade, a maioria dos trabalhadores portuários possui pelo menos o ensino médio, representando 59% do total. Já os trabalhadores dos OGMOs têm uma distribuição entre ensino fundamental incompleto (33%) e ensino médio completo (26%) (DIEESE, 2015). A formação desses profissionais é regulamentada por normas específicas e recebe financiamento público. No entanto, o sistema de financiamento para treinamento e qualificação não foi estabelecido de forma sólida e permanente.

A Lei 8.630/93, conhecida como a "Lei de Modernização dos Portos", definiu que o treinamento e a qualificação dos trabalhadores portuários eram de responsabilidade do OGMO. No entanto, a lei não forneceu um sistema de financiamento seguro e duradouro para esses fins. Alguns centros de treinamento foram estabelecidos nos portos brasileiros, mas muitos dependem de financiamento público, parcerias com empresas portuárias ou programas governamentais (Maciel et al., 2015).

A Lei 12.815/13, por sua vez, também não solucionou o problema de treinamento e qualificação dos trabalhadores portuários (Brasil, 2013). Embora tenha esclarecido as competências do OGMO e introduzido o Fórum Permanente de Qualificação do Trabalhador Portuário, este último não foi eficaz na resolução dos problemas de qualificação (Brasil, 2013).

Em contraste, muitos dos principais portos do mundo, como Antuérpia, Rotterdam, Hamburgo, Barcelona e Valência, implementaram programas de treinamento e requalificação eficazes para os trabalhadores portuários, contribuindo para o desenvolvimento desses portos. Esses programas se adaptaram às mudanças nas operações portuárias ao longo do tempo, enquanto no Brasil, os programas de treinamento ainda se baseiam em conteúdo da primeira metade da década de 2000 (NORMAM 32, 2015).

2.3 Modernização dos portos

Houve uma transformação significativa nos portos ao longo do tempo, não apenas em termos de suas operações, mas também em relação às suas

funções. De acordo com Peña Zarzuelo, Freire Seoane e López Bermudez (2020), nas décadas de 1960, os portos e terminais eram principalmente considerados locais para carga e descarga. No entanto, nas décadas seguintes, ocorreu uma evolução. Entre os anos 1960 e 1980, esses portos passaram a ser integrados em processos industriais específicos. Posteriormente, de 1980 a 2010, foram reconhecidos como elementos essenciais na cadeia de suprimentos global (Global Supply Chain - GSC). Essa mudança de paradigma também envolveu a entrada de grandes empresas de navegação no setor de operações portuárias, tornando-se operadoras das instalações portuárias (Meirinho, Silva, 2018).

A partir de 2010, testemunhamos a evolução dos portos em direção ao conceito de "Portos Inteligentes," incorporando inovações digitais alinhadas à Indústria 4.0 (Peña Zarzuelo; Freire Seoane; López Bermudez, 2020). Herrero (2019) destacou a implantação de sensores em guindastes, equipamentos de manuseio, contêineres, caminhões e portões de acesso (gates) em portos e terminais, permitindo uma gestão mais eficiente da infraestrutura e otimização das operações multimodais. Essas inovações também foram acompanhadas pela integração de portos em sistemas de cadeia de suprimentos maiores, como o sistema Port Community System (PCS) nos portos de Amsterdã e Roterdã, visando compartilhar informações de maneira eficiente (Egbersten, 2019). Além disso, Egbersten ressaltou o uso do aplicativo gratuito lamport, que permite o rastreamento em tempo real dos movimentos de navios em toda a região portuária.

Além disso, a preocupação com o meio ambiente também tem sido uma força motriz na inovação tecnológica na operação portuária. Para minimizar os impactos ambientais, surgem conceitos como "portos verdes," que promovem o desenvolvimento sustentável nas instalações portuárias. Isso inclui a utilização de fontes de energia renovável e a otimização do consumo de energia para reduzir o tempo de atracação dos navios e minimizar a emissão de poluentes atmosféricos (Yun Peng et al., 2020). A alocação eficiente de berços e a programação dos guindastes no cais também desempenham um papel importante na gestão do consumo de energia dos navios (Yun Peng et al., 2020).

2.4 Navios e classes de navios

Denomina-se *Motor Vessel* o veículo apropriado para a navegação em mares, rios e lagos. Sua construção obedece a especificações para uma perfeita navegabilidade. Podem ser de vários tamanhos, tipos e finalidades. São propulsionados por motores de grande potência, capazes de impulsionar e locomover embarcações todos os tamanhos, com dezenas e até centenas de milhares de toneladas.

Os navios podem ser de vários tamanhos, tipos, finalidades e configurações, adequando-se sempre às especificações necessárias. São propulsionados por motores de grande potência, capazes de impulsionar e locomover embarcações de todos os tamanhos. A classe mais comum para manobras no Píer 4 são os ULOC, representados pelos conhecidos Valemax e Guaibamax, de primeira e de segunda geração, com porte bruto de até 400.000 toneladas.

Os navios Valemax (Figura 1) são embarcações pertencentes à classe de navios-graneleiros especialmente projetados para transportar grandes quantidades de minério de ferro extraídos do Brasil. As embarcações da classe Valemax estão entre as maiores embarcações do mundo, apresentando comprimento total de mais de 360 metros e capacidade de carregamento de mais de 380.000 toneladas de minério de ferro, podendo alcançar até 400.000 toneladas caso os portos estejam aptos a receber as embarcações com plena carga. Elas foram projetadas para reduzir os custos de transporte de minério de ferro e para aumentar a eficiência do transporte, incluindo a redução na emissão de poluentes, pois podem carregar muito mais carga do que os navios convencionais em uma mesma viagem.



Figura 1: Navios ValeMax. Fonte: Portal Vale.

2.5 Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica (FCTH)

A Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) é uma instituição de pesquisa e desenvolvimento localizada em São Paulo, Brasil. Ela tem como objetivo principal promover o avanço da tecnologia na área de recursos hídricos, hidráulica e meio ambiente. A FCTH realiza estudos, projetos e análises nessas áreas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a preservação dos recursos naturais. O Laboratório que reproduz a Baía de São Marcos na região próxima ao Terminal de Ponta da Madeira (TPM), abrangendo em sua extremidade norte, desde o canal de acesso próximo à Ilha do Medo e Canal do Boqueirão, até os berços do Porto de Itaquí em sua extremidade Sul.

Os ensaios em modelos reduzidos de embarcações são realizados em tanques de provas ou canais de água. O modelo reduzido da embarcação é colocado na água, como observado na figura 2, e são feitas medições e observações para avaliar o desempenho hidrodinâmico, estabilidade, manobrabilidade e outros aspectos relevantes. Esses dados são utilizados para otimizar o projeto da embarcação em termos de eficiência, segurança e conforto.



Figura 2: Modelo reduzido da embarcação utilizado para testes.

A verificação de modelo físico hidráulico envolve a comparação dos resultados obtidos nos ensaios com o modelo reduzido com as expectativas teóricas ou os dados de referência. Isso é feito através da análise de parâmetros como resistência ao avanço, comportamento em ondas, estabilidade, manobrabilidade, entre outros. A verificação é realizada para garantir a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos com o modelo físico,

auxiliando no processo de tomada de decisões relacionadas ao projeto e operação da estrutura hidráulica.

Como resultado destes estudos espera-se obter o plano de amarração de maior eficiência, entendido como aquele que apresenta a maior segurança para manter o navio atracado, empregando o menor número de cabos possível.

Os planos de amarração são elaborados a partir do arranjo geral da embarcação e a disposição dos elementos de amarração presentes no píer. O modelo físico hidráulico não simula diretamente os planos de amarração das embarcações. Ele é utilizado principalmente para avaliar o comportamento hidrodinâmico das embarcações, como resistência ao avanço, manobrabilidade e estabilidade. A simulação dos planos de amarração é geralmente feita por meio de modelos computacionais específicos, que levam em consideração os detalhes da embarcação, as características do local de atracação e outros fatores relevantes. Esses modelos computacionais podem ser utilizados em conjunto com os resultados obtidos nos ensaios físicos para uma análise mais completa do desempenho da embarcação.

Os cabos de amarração são geralmente representados em modelos físicos hidráulicos por meio de fios ou cordas de pequeno diâmetro que são fixados ao modelo da embarcação e ao local de atracação (Figura 3). Esses fios ou cordas são ajustados para simular a tensão e a posição dos cabos de amarração reais. Através da observação do comportamento desses elementos durante os ensaios, é possível avaliar o efeito dos cabos de amarração (Quadro 1) na estabilidade e movimentação da embarcação.

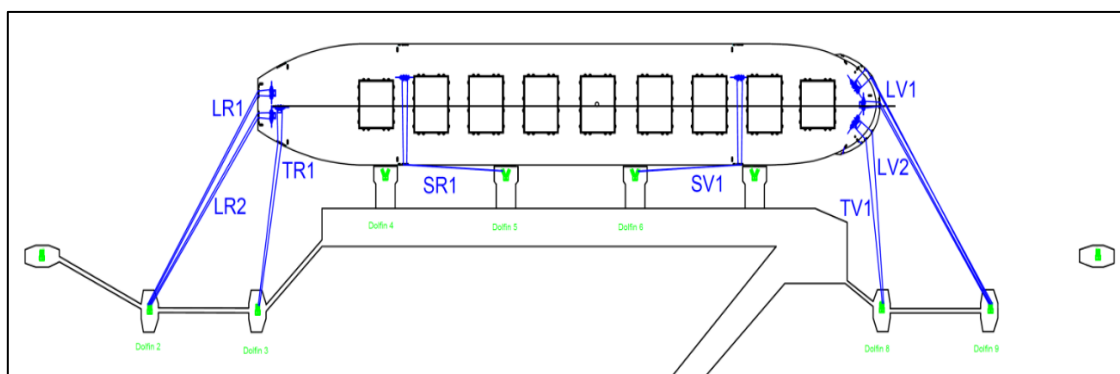


Figura 3: Exemplo de plano de amarração e as siglas dos conjuntos de cabos utilizadas.

Quadro 1: Siglas dos conjuntos de cabos utilizadas, na figura 3.

LR	Lançante de ré
TR	Través de ré
SR	Spring de ré
SV	Spring de vante
TV	Través de vante
LV	Lançante de vante
GN	Guincho do navio
GT	Guincho de terra

2.6 Procedimentos operacionais

Procedimentos Operacionais (PRO) são instruções detalhadas e padronizadas que descrevem as etapas a serem seguidas para realizar uma tarefa ou operação específica. Eles fornecem orientações passo a passo, incluindo informações sobre equipamentos, materiais, medidas de segurança e outras diretrizes relevantes. Os procedimentos operacionais são utilizados para garantir a consistência, eficiência e segurança nas atividades realizadas em diversos setores, como indústria, serviços e saúde.

Para as condições das embarcações atracadas no Píer 4, alguns fatores que constam no PRO devem ser seguidos à risca, a exemplo da condição do carregamento. Durante o carregamento dos navios, ocorrem variações de Trim e de Adernamento que também interferem na tensão dos cabos. Por isso, o Centro de Controle de Amarração (CCA) deve acompanhar a sequência de carregamento para saber o comportamento do navio durante o embarque e realizar os ajustes necessários para evitar sobretensões e rompimentos de cabos.

Para as amarrações e tensões foi disponibilizado um quadro (Quadro 2), com instruções que conduzem os funcionários a identificar e tratar os desvios mostrados na área, uma padronização que mostra as características de cores, toneladas e observações.

Quadro 2: Esquema de cores de faixas de tensão dos cabos cadastrados no supervísório

TENSÕES DE TRABALHO DOS CABOS (P4 SUL E NORTE)

	Tensões de operação P4 Sul	Tensões de operação P4 Norte	Observações
Cabo Solecado	0 a 5 tons	0 a 5 tons	Faixa de tensão inicial, admitida a cabos durante a passagem ou em cabos não exigidos pelo ciclo de maré.
Intermediária	6 a 10 tons	6 a 10 tons	Faixa de tensão desejável a cabos em operação, geralmente com o navio leve ou carregado em quadraturas.
Flexível	11 a 14 tons	11 a 14 tons	
Normal	15 a 25 tons	15 a 25 tons	
Ascendente	26 a 35 tons	26 a 35 tons	Faixa de tensão ascendente. Indica que deve ser feita uma solidarização das tensões dos cabos adjacentes, a fim de aliviar sua tensão. [Verificar a possível causa da tensão em alerta antes de realizar ajustes]
Excessiva	36 a 70 tons	36 a 70 tons	Faixa de tensão de transição. Indica que o cabo passou a operar próximo do seu limite de utilização. [Verificar a possível causa da tensão excessiva antes de realizar ajustes]
Alto Risco	71 a 90 tons	71 a 90 tons	Faixa de tensão crítica, indica que o cabo já está no limite de tração, próximo da ruptura. [Verificar a possível causa da tensão crítica antes de realizar ajustes]
Crítica	Acima de 90 tons	Acima de 90 tons	

Ainda na instrução existe a recomendação de manter os cabos solidarizados, com as tensões com valores próximos, tanto para os cabos dos guinchos de terra quanto os cabos do navio. O procedimento também levanta importante ponto de atenção quanto aos cabos dos guinchos de terra para sua aplicabilidade e conservação, que também devem ser atendidos. Na figura 4, podemos observar as condições dos cabos de terra de HMPE (High Modulus Polyethylene) durante o processo de inspeção.



Figura 4: Condição dos cabos de terra de HMPE.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Realizar o levantamento de dados técnicos das tensões nos cabos de amarração durante a estadia de navios no Píer 4 do TMPM.

3.2 Específicos

- Investigar a influência de variáveis como ventos, correntes e marés, nas tensões dos cabos de amarração;
- Avaliar a estabilidade e as forças exercidas nos cabos de amarração das embarcações atracadas;
- Examinar a Influência das tensões durante a evolução do carregamento;
- Avaliar a técnicas de amarração utilizada;

- e) Consolidar os resultados da pesquisa e propor sugestões a partir deste estudo.

4. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO EM ESTUDO

4.1 Terminal marítimo de Ponta da Madeira e suas particularidades

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira está localizado na margem leste da Baía de São Marcos, na Ilha de São Luís, 08 quilômetros ao sul do centro da cidade de São Luís, capital do Estado do Maranhão (Vale, 2021).

O Píer 4, figura 4, está localizado nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude 002° 33' 7,5605" Sul Longitude: 044° 22' 45,5696' Oeste 2° 3.

O clima da região enquadra-se no tipo tropical de elevados totais pluviométricos e moderado no período de estiagem com apenas uma estação de chuvas entre dezembro e junho, (Silva, 2016).

Com uma temperatura que varia ao longo do ano entre 23°C a 31°C, ficando normalmente em torno de 27°C, a umidade relativa do ar é uniformemente alta durante todo o ano, com média mensal variando entre 75% e 85% (Vale, 2024).

Seu índice pluviométrico médio anual é de 1.944mm. Na estação chuvosa é de 325mm mensais, com cerca de 15 dias chuvosos por mês, e, nos meses de seca (entre julho e novembro), a média mensal é de 50mm, com 5 dias de chuva por mês; A direção predominante dos ventos é de nordeste, com frequência de 25% (Vale, 2024).

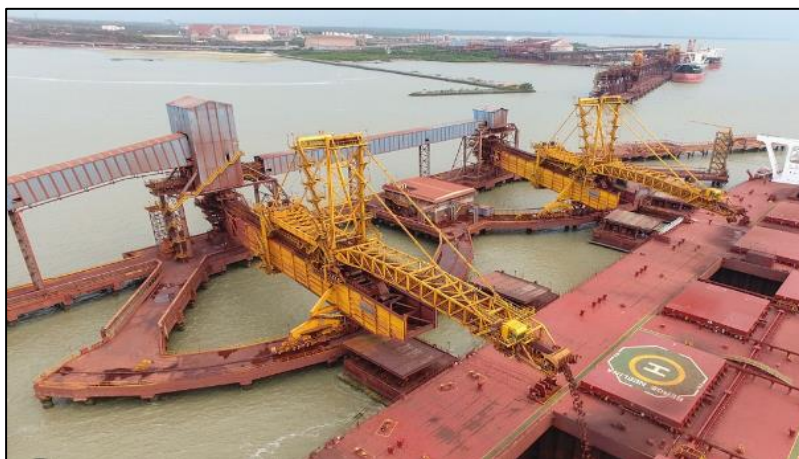


Figura 5: Píer 4 – Terminal Marítimo Ponta da Madeira.
Fonte: Vale, 2024.

O Píer 4 é um píer Off Shore, composto por 02 berços (Píer 4 Sul e Píer 4 Norte), como pode ser observado na figura 5. Possui comprimento operacional total de 508,00 metros e um cais acostável de 165,00 metros para cada berço. Seu porte bruto é preferencialmente para atracação de navios igual ou maior que 320.000 DWT. O comprimento total máximo dos navios é de 365,00 metros, com boca máxima dos navios de 66,00 metros. O berço possui profundidade de 25,00 m (Patrícia Dalsoglio Garcia, Tiago Zenker Gireli, Juliano Philippi Gerent & Paolo Alfredin).



Figura 6: Extensão do Píer 4 - Berços Norte e Sul.
Fonte: Vale, 2024.

4.2 Marés de corrente de marés

Para Camargo e Harari (2015), os principais fundamentos que explicam a origem das marés se dão a partir da Teoria do Equilíbrio, de Issac Newton, onde o movimento das massas d'água na Terra são influenciado pela força gravitacional do Sol e da Lua, que atraem a massa líquida sobre o planeta (Figura 6). É importante destacar que essa força gravitacional não será a mesma em todos os pontos do Globo, pois a distância à Lua não é a mesma.

Ademais, salienta-se que as variações cíclicas dos astros Lua e Sol criam diversas oscilações do nível do mar e dos componentes da maré, o que produz, como pode ser visualizado na figura 7, as marés do tipo sizígia, com maiores amplitudes de maré, onde a Lua – Terra – Sol encontram-se alinhados e;

quadratura, com menores amplitude de maré, onde os astros estão desalinhados, (Camargo e Harari, 2015).

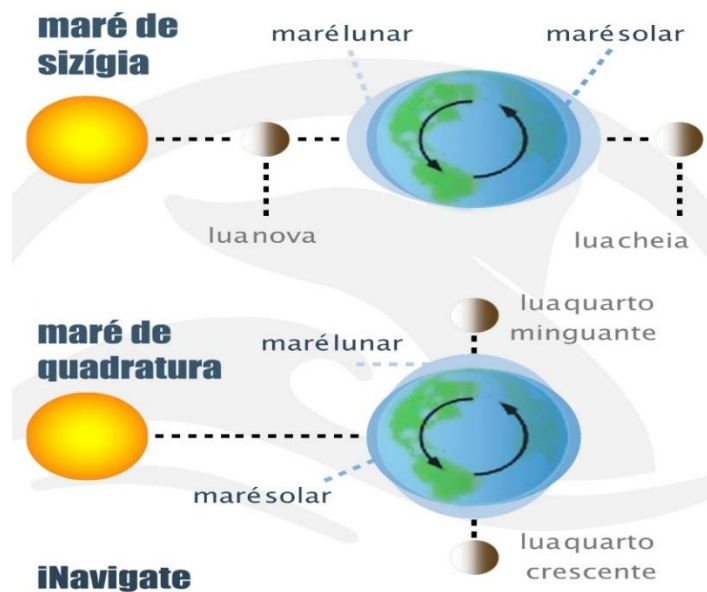


Figura 7: Força Gravital entre os astros e formação das marés.
Fonte: Inavigate, 2023.

Existem três tipos de marés: as semi diurnas (duas baixa mares - BM e duas preamares – PM, num dia lunar, acontecendo num intervalo de aproximadamente 6hs cada), as diurnas (uma BM e uma PM em um dia lunar) e as mares mistas (duas PM e duas BM acontecendo de maneira aleatórias em um dia lunar). As amplitudes de maré, Baixa mar e Preamar, podem ser visualizadas na figura 8.

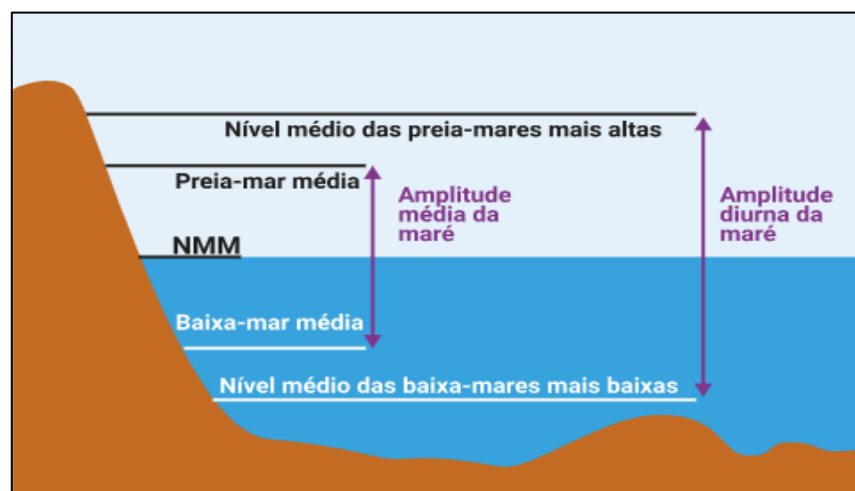


Figura 8: Amplitudes de Maré.
Google Earth (2024)

Nessa perspectiva, a maré na Baía de São Marcos é do tipo semi diurna. A maré na entrada do canal — boias nº 1 e nº 2 — ocorre 75 minutos antes e com amplitude de cerca de 60% da observada no Píer 1 do Terminal. As ondas na região são produzidas por ventos locais. Na bacia de evolução e extensão podem ocorrer ondas de 1,10 metros com períodos de 6,0 segundos.

Na região em estudo, de acordo com Silva (2016), os ventos alísios são predominantes, sendo estes mais intensos nos meses de agosto e setembro, muito provavelmente devido a localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) estar mais ao norte durante esse período do ano.

Ainda em Silva (2016), foi evidenciado que as velocidades de correntes de maré na baía de São Marcos são maiores no período de enchente do que de vazante e na temporada de seca na região, em especial nos meses de agosto e setembro, o que possivelmente está atrelado a localização da ZCIT, consequentemente ventos mais fortes. Além disso, ela verificou valores máximos de correntes para a região de 4 m.s^{-1} , no período de enchente.

Essas correntes são reversas, apresentam direção norte e nordeste, nas vazantes e, após os estofos invertem a direção para o sul e sudeste durante a enchente. No canal de acesso, as correntes se apresentam na direção de 40° - 220° a 60° - 240° , podendo atingir a velocidade de 2,5 nós, como pode ser visualizado na figura 9. As correntes são ampliadas na altura da bacia de evolução do Terminal.



Figura 9: Representação dos dados do Marégrafo da Vale.

Fonte: Vale, 2023

No Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, em destaque no Píer 4, a velocidade das correntes é acompanhada de forma instantânea por equipamentos denominados marégrafos, que são instrumentos que registam automaticamente os níveis da maré em função do tempo. Eles ficam localizados em pontos estratégicos nos píeres 1 e 4. Na figura 10 é possível verificar a localização do marégrafo do Píer 4.



Figura 10: Localização do marégrafo do Píer 4.
Fonte: Google Earth, 2024.

5. METODOLOGIA

A integração de dados provenientes de múltiplas fontes é utilizada em muitos contextos de pesquisa e análise. No presente estudo, aborda-se o desafio de extrair informações relevantes e confiáveis dos programas PI System, sistema que disponibilizou a tonelada força na qual os cabos de amarração tanto de bordo quanto de terra foram submetidos. O navio alvo deste estudo de caso foi o SEA INDONESIA.

A necessidade de lidar com diferentes formatos, estruturas e protocolos de dados requereu uma abordagem cuidadosa e estratégica para garantir a integridade e a precisão das informações extraídas. O perfilador acústico de corrente (ADCP) e o Conductivity, Temperature, and Depth (CTD) desempenham um papel fundamental na análise do estudo, especialmente quando se trata da avaliação da tensão nos cabos de amarração. O ADCP é essencial para a

medição da velocidade e direção das correntes oceânicas, fornecendo dados valiosos que são fundamentais para compreender o ambiente marinho e suas influências nos sistemas de amarração.

Ao capturar informações precisas sobre as correntes e seus padrões de variação, o ADCP possibilita uma análise detalhada da dinâmica das águas, permitindo a avaliação da carga dinâmica exercida sobre os cabos de amarração. Dessa forma, o uso do ADCP não apenas enriquece a coleta de dados, mas também fornece insights essenciais para a compreensão e a mitigação dos impactos das forças oceânicas nos sistemas de amarração, contribuindo significativamente para a segurança e a eficiência das estruturas marítimas em estudo.

Enquanto, o CTD captura informações detalhadas sobre a salinidade, temperatura e pressão da água em diferentes profundidades, o CTD permite uma análise abrangente das condições oceânicas que afetam diretamente a dinâmica das correntes e a carga exercida sobre os cabos de amarração.

Os métodos utilizados compreendem: medições, análise de dados, inspeção visual local e no supervisório remoto, monitoramento contínuo e análise de dados históricos. Ademais, os materiais utilizados foram: sensores específicos, instrumentação eletrônica, materiais de proteção e equipamentos de inspeção visual

Sendo assim, a metodologia empregada neste estudo buscou garantir a coleta de dados precisos, sendo conduzida em algumas etapas, conforme segue:

- a) Levantamento Bibliográfico: Realização de uma revisão bibliográfica para compreender os conceitos relacionados a operações portuárias, atracação e desatracação de navios, cabos de amarração e tensões envolvidas;
- b) Coleta de Dados Primários: Registro de dados diretamente no Píer 4 do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira durante as operações de atracação, estadia e desatracação. Utilização de instrumentos de medição de tensão em cabos de amarração e células de carga para registrar informações relevantes. Coleta de informações sobre as características dos navios, condições climáticas e outros fatores que pudessem influenciar nas tensões dos cabos;

- c) **Análise de Dados:** Processamento e análise dos dados coletados para identificar tendências, padrões e relações entre as tensões nos cabos de amarração e variáveis relevantes, como o tamanho do navio, condições meteorológicas, entre outros. Utilização de ferramentas estatísticas para quantificar as tensões médias e máximas nos cabos de amarração durante diferentes situações operacionais;

A partir dessas etapas, foi possível a obtenção de dados confiáveis e uma análise abrangente das tensões em cabos de amarração no contexto do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, fornecendo informações para melhorar a segurança e eficiência das operações portuárias nesse terminal marítimo

6. CABOS DE AMARRAÇÃO

De acordo com o Guia de Inspeção e Aposentadoria de Cabos (CSL, 2023), existem diversos tipos de cabos navais utilizados na amarração de navios. No Terminal Marítimo de Ponta da Madeira é predominante a utilização do cabo de HMPE (High Modulus Polyethylene). Este tipo de cabo é fabricado com fibras de HMPE Dyneema (Figura 10) e destacam-se por apresentar altíssima resistência à ruptura para pequenos diâmetros, flutuabilidade positiva, não absorção de água, excelente resistência à abrasão, ótima resistência química e à luz ultravioleta (UV), baixo alongamento, excelente resistência à fadiga e elevada resistência à flexão (permite levantar, instalar e manusear cargas com elevada precisão).

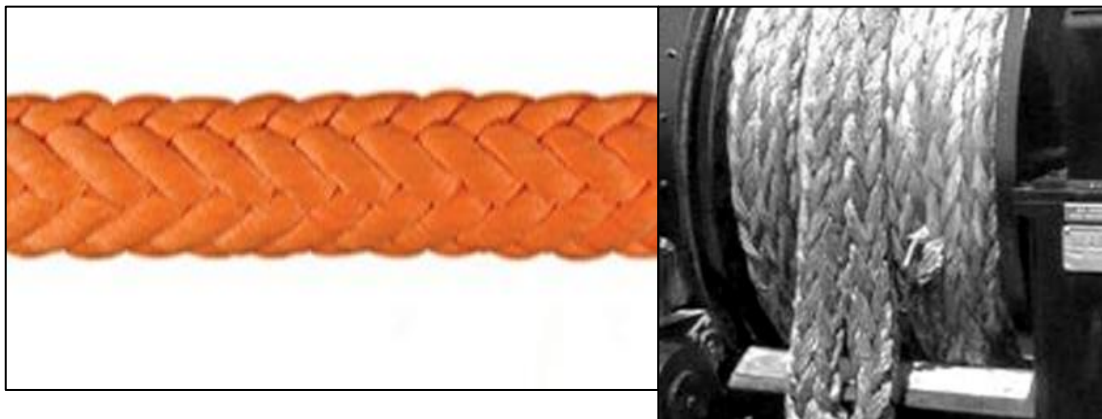


Figura 11: Amarração de Cargas High Modulus Polyethylene (HMPE).
Fonte: CSL, Guia de inspeção e aposentadoria de cabos HMPE, 2023.

Todas essas características, aliadas à facilidade de manuseio devido à leveza do material quando comparado com outros cabos de fibras e, sobretudo, quando comparado com cabos de aço, justificam tecnicamente sua aplicação. Esse modelo é utilizado tanto pelos navios que atracam no berço Píer 4, quanto pelos equipamentos de terra, os chamados “Guinchos de Terra”. Alguns prós e contras o uso desse modelo pode ser visualizado no quadro 3.

Os cabos podem ser cobertos por uma capa trançada, sendo esta um elemento não estrutural, tendo como principais funções a proteção da alma contra a abrasão externa e a entrada de partículas que podem gerar abrasão interna, preservando assim a resistência do núcleo do cabo

Quadro 3: Prós e contras dos cabos High Modulus Polyethylene (HMPE)
Fonte: CSL, Guia de inspeção e aposentadoria de cabos HMPE, 2024.

PRÓS	CONTRAS
✓ Restringe a entrada de partículas; ✓ Limita cortes e desgaste por abrasão no cabo protegendo o elemento estrutural; ✓ É possível reparar a capa; ✓ A ruptura parcial em cabos com capa pode ser percebida pela redução do diâmetro no local do dano; ✓ Limita o efeito “chicote” em caso de ruptura.	✓ Não é possível inspecionar facilmente o desgaste da alma do cabo;

6.1 Princípios gerais de amarração de navios

Um sistema de amarração, em termos gerais, é definido como uma estrutura que restringe um navio contra as forças dos ventos, ondas e correntes. É composto por componentes de tensão (cabos, amarras) e de compressão (defensas). Um exemplo desse sistema de amarração no Píer 4 da Vale, pode ser observado na figura 11.

A função da amarração é prevenir que um navio derive do berço e mantê-lo em posição em relação às máquinas de carregamento/descarregamento que, por sua vez, têm pouca liberdade de movimento. A amarração também contribui para a aproximação final do navio durante a atracação. A amarração de um navio é geralmente composta por conjuntos de cabos que desempenham as funções de lançantes, traveses e espringues.

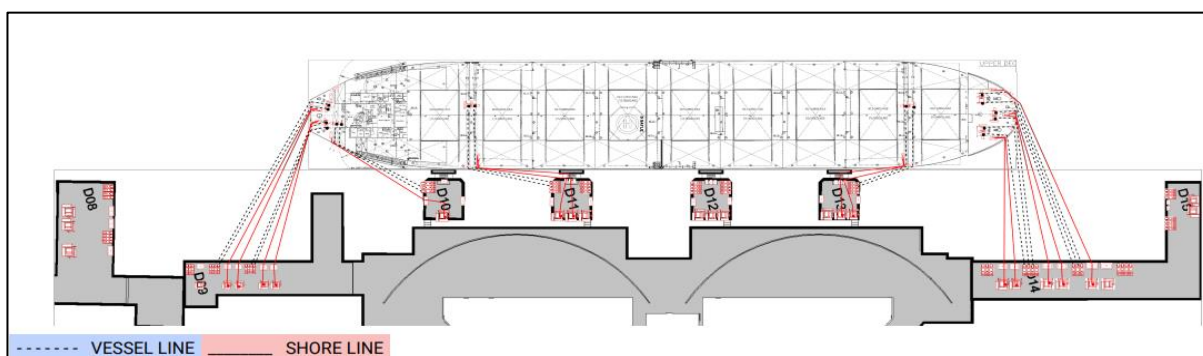


Figura 12: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte - Terminal Marítimo de Ponta.
Fonte: Sistema de processo operacionais da Vale (2023).

6.1.1 Lançantes

Os chamados lançantes podem ser de proa ou de popa. São amarrados nas extremidades do navio (Figura 12). Os de proa têm a amarração em terra mais a vante do navio, e os de popa tem a amarração mais a ré. Esses são encapelados a cabeços ou ganchos mais distantes da embarcação, possuem uma função mais auxiliar em comparação aos esforços exercidos pelos espringues e traveses, porém contribuem para que o navio não se mova paralelamente ao cais.



Figura 13: Desenho de navio com seus cabos de lançantes.

6.1.2 Traveses

Os Traveses são os cabos que formam um ângulo reto (90°) com o plano longitudinal do navio, conforme observado na figura 13. Possuem a função de restringir o afastamento do navio em relação ao berço.



Figura 14: Desenho de navio com seus cabos de travessas.

6.1.3 Espringues

Os espringues são os cabos que disparam para dentro do navio (Figura 14), ou seja, dizem no sentido contrário ao da extremidade de onde saem (espringues de proa saem da proa para ré, espringues de ré saem da popa para vante). A finalidade dos espringues é a de restringir a movimentação longitudinal (avanço e recuo) do navio. É importante notar que somente um grupo de espringues (ré ou vante) será exigido de cada vez. Cabos curtos devem ser evitados sempre que possível, pois eles serão mais exigidos que os demais.

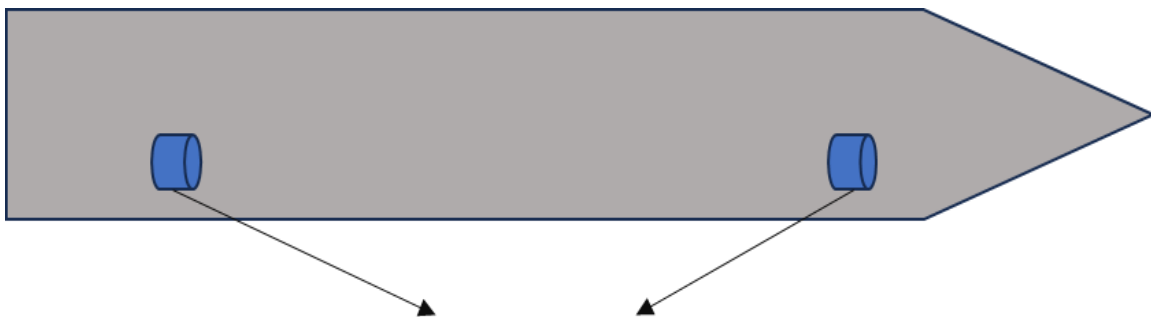


Figura 15: Desenho de navio com seus cabos de espringues.

6.2 Calabrote

Os cabos de calabrote possuem comprimento de 11 a 33 metros (Figura 15) e são colocados na extremidade de cabos para facilitar o seu manuseio.



Figura 16: Cabos Calabrotes.

6.3 Retinida de bitola

As retinidas de bitola pequena são cabos geralmente conjugados com um pequeno peso na ponta, utilizado no arremesso, para posteriormente conduzir os cabos de amarração oficial do navio. Na figura 16 podemos observar um exemplar desse tipo de cabo.



Figura 17: Cabo retinida de bitola

6.4 Mensageiro de bitola média

Os Mensageiros de Bitola Média, figura 17, são cabos utilizados para trazer os cabos do navio até o cais (1 a 2 polegadas).



Figura 18: Cabo Mensageiro.

7. ATRACAÇÃO E DESATRACAÇÃO DE NAVIOS

A atracação e desatracação de navios desempenham papéis fundamentais no funcionamento eficiente do Porto. Para garantir a organização e a priorização adequadas dessas operações, o manual do PIANC (2014), estabelece procedimentos específicos, tais como:

- a) "Atracação Imediata" é o primeiro critério a ser considerado, exigindo que uma embarcação atraque imediatamente após sua chegada ao porto, superando qualquer outra embarcação que possa ter preferência;
- b) "Atracação Preferencial" concede prioridade a determinadas embarcações, como aquelas com escalas regulares definidas em portarias da EMAP (Empresa Maranhense de Portos), as que requerem equipamentos especiais de cais, as que desatracaram devido à força maior ou solicitação da autoridade portuária, entre outros casos específicos. No entanto, essa preferência só pode ser aplicada após a conclusão das horas operacionais das atracações anteriores;

- c) "Atracação Sequencial" segue a ordem cronológica com base na data e hora do NOR registrado no sistema informatizado de programação e controle das operações;
- d) "Sistema Informatizado de Programação e Controle das Operações" é a ferramenta central para gerenciar todo esse processo no Porto do Itaquí;
- e) "Pedido de Atracação" é uma solicitação formal realizada por um Agente Marítimo credenciado à Autoridade Portuária, incluindo todos os dados necessários para o aceite operacional e a data de chegada da embarcação;
- f) "Aparelhamento Especial de Cais" refere-se às instalações e equipamentos específicos utilizados para operacionalizar certos tipos de cargas;
- g) O princípio "First Come, First Served (FCFS)" estabelece que o primeiro navio a informar sua prontidão será o próximo na fila de atracação, observando os requisitos da ordem de atracação;
- h) "Horas Operacionais" são as estimativas para a operacionalização de um navio, excluindo as "Horas Excludentes," que são as horas não úteis devido a intempéries, problemas de infraestrutura, entre outros;
- i) "Ritmo Normal" é o carregamento e descarregamento de mercadorias conforme estipulado pelo Plano de Operação e pela tabela de produtividade aprovados pela Administração Portuária;
- j) "Janela Operacional" indica o período disponível para atracação, otimizando a fila de navios e minimizando a ociosidade do berço;
- k) "Janela Operacional Predefinida" é estabelecida por meio de Portaria da Presidência da EMAP para navios regulares;
- l) "Reunião Pré-Operacional" é um encontro envolvendo a Administração Portuária, Clientes, Operadores Portuários, Agentes do Navio e outras partes interessadas, planejando as metas operacionais de cada navio com base nos dados fornecidos;
- m) "Notice of Readiness (NOR)" é um aviso de prontidão da embarcação para a operação de carga ou descarga;
- n) "Notice of Arrival (NOA)" informa a chegada do navio;
- o) "Length of Overall (LOA)" é o comprimento máximo do casco de um navio;

- p) "Risco Comprovado de Desabastecimento" envolve o registro de controle de estoque que comprova a necessidade de abastecimento pelo Porto do Itaquí;
- q) "Capacidade Nominal dos Equipamentos" é determinada pelo fabricante em manuais, projetos ou estudos de engenharia, considerando a configuração do sistema ao qual pertencem;
- r) "BY PASS" é a situação em que um navio desiste de atracar imediatamente, permitindo que o próximo navio na fila o substitua;
- s) "Documento Único Virtual (DUV)" é um processo monitorado no sistema "Porto sem Papel" para regularizações junto aos órgãos anuentes;
- t) "Stowage Plan" ou "Plano de Carga/Descarga" apresenta a distribuição de cargas nos porões dos navios;
- u) "Packing List" é uma lista de mercadorias operadas, incluindo dimensionamentos de peso e tamanho;
- v) "Bill of Lading (BL's)" é o documento comprobatório de transporte marítimo;
- w) "Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ)" fornece informações técnicas sobre produtos químicos;
- x) "Tallys de Conferência" contêm informações sobre paradas na operação do navio;
- y) "Manobras de Shifting" permitem a desatracação e atracação do mesmo navio sem sair da linha de berço.

Essas diretrizes e procedimentos são essenciais para garantir a segurança, eficiência e organização das operações de atracação e desatracação de navios no Terminal de Ponta da Madeira, contribuindo para o seu funcionamento eficaz e para a movimentação de mercadorias de forma eficiente e segura.

7.1 Manobras de atracação ou amarração de navios

Quando uma embarcação está próxima do cais, a tripulação arremessa um artefato chamado "pinha". A pinha é um trabalho marítimo feito na ponta da retina para dar peso a esta, e possibilitar seu arremesso à distância do píer.

Ao receber a retinida, esta é amarrada ao cabo mensageiro. O cabo mensageiro geralmente é um cabo intermediário, de duas polegadas de diâmetro, que será usado para trazer o cabo do navio. Quando o navio recebe o mensageiro, conecta este ao cabo de amarração. O mensageiro, então, é tracionado com a ajuda do cabrestante, para trazer o cabo do navio para próximo do cabeço ou gato.

Quando a mão do cabo está subindo no píer é comum encontrar alguma dificuldade caso não sejam usadas quebra-quinas. Deve-se ter atenção para evitar tensão excessiva nos mensageiros, o que pode parti-los.

Quando finalmente o cabo está em posição, deve-se encapelá-lo na unha. O cabrestante, então, deve ser liberado e o mensageiro retirado para uso em outro cabo.

Depois de encapelado, afaste-se do cabo e certifique-se que a área está clara, ou seja, as pessoas envolvidas estão a uma distância segura dos cabos. Só então sinalize para que a tripulação do navio tensione o cabo (Figura 16).

Deve-se manter uma distância segura quando estiver utilizando o cabrestante. Há um grande risco de se ter as mãos ou dedos presos entre o tambor e o cabo. Se o píer estiver equipado com proteção tipo grade, deve-se ficar atrás dela.

Não devem ser dadas muitas voltas no cabrestante. Geralmente 3 são suficientes. Muitas voltas dificultam a retirada do cabo após o seu uso. O cabrestante pode ser comandado por botoeiras ou por pedaleiras. A pedaleira permite a operação por um único colaborador



Figura 19: Atracação no Terminal Marítimo Ponta da Madeira.

Após a passagem dos cabos do navio, que são aqueles que saem de bordo da embarcação para os ganchos do terminal, se faz necessário complementar a amarração com os cabos de terra, como mostra a figura 17, que são aqueles que saem do terminal para os cabeços do navio. Isso se dá devido a condição crítica de estadia destes navios em um Píer com característica OffShore.

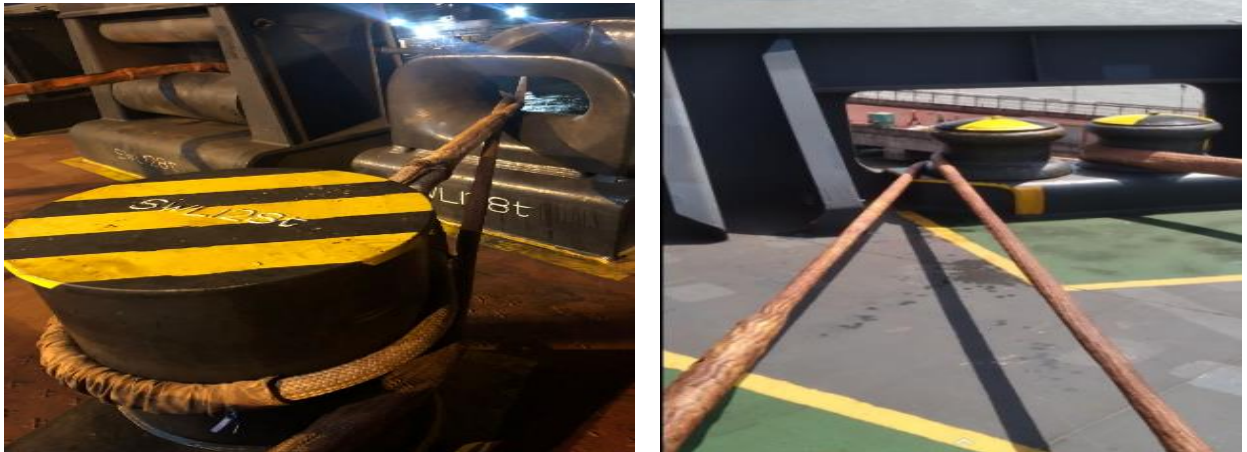


Figura 20: Cabos de terra.

7.2 Manobras de desatracação ou desamarração de navios

Os cabos são liberados depois da sinalização feita pela tripulação do navio (Figura 20). Cabos na água podem ser perigosos para a manobra, especialmente na popa, onde podem enrolar no hélice e causar acidentes. Somente libere os cabos quando a tripulação estiver pronta para colhê-los. A ordem de liberação dos cabos é dada pelo prático da manobra. E geralmente segue uma ordem de fora para dentro: Lançantes, travesses e espringues.



Figura 21: Imagem ilustrativa dos cabos lançados.

7.3 Planos de amarração

Os planos de amarração de navios são esquemas ou diagramas que mostram a disposição dos cabos e correntes de amarração utilizados para fixar uma embarcação ao cais ou a outros pontos de atracação. Na figura 19 é possível observar um modelo de um plano de amarração para o Píer 4, berço Sul. Esses planos indicam a quantidade, o tipo e a localização dos cabos de amarração, considerando fatores como o tamanho e a configuração da embarcação, as condições do porto e as forças do ambiente marítimo. Os planos de amarração garantem a segurança e estabilidade da embarcação durante a operação de atracação e desatracação.

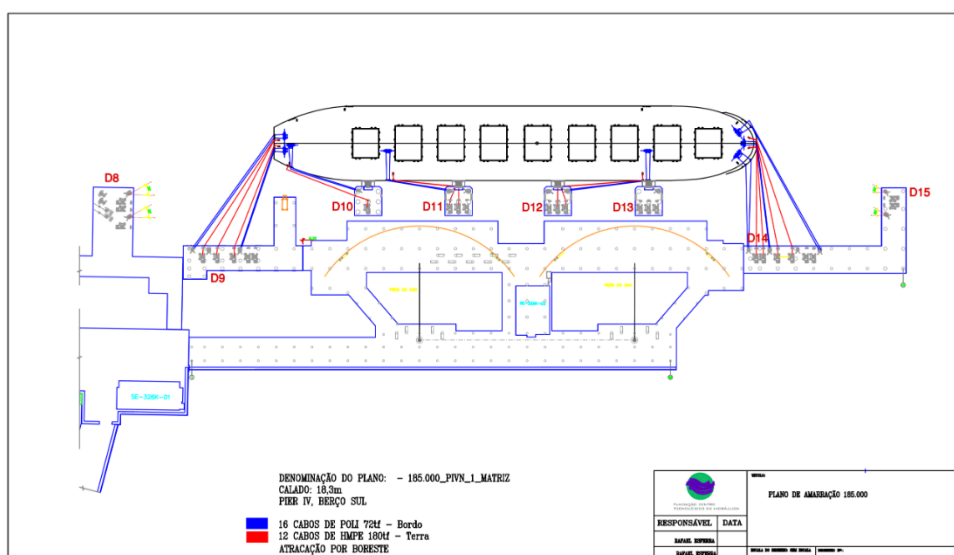


Figura 22: Exemplo de Plano de Amarração e as siglas dos conjuntos de cabos utilizadas.

Fonte: FTCH, 2019.

Ainda segundo o FCTH, para o navio de 185.000 DWT, foram propostos três planos para o Píer 4, como pode ser visto no quadro 02, em comum acordo com a operação do terminal, isso devido à grande diversidade no arranjo dos elementos de amarração para esta classe de navios. Para o navio de 250.000 DWT foram propostos dois planos de amarração, variando o tipo de material do cabo, visto que alguns navios desta classe ainda não efetuaram a troca dos cabos de bordo de Polipropileno (80tf) para HMPE (100tf).

Quadro 4: Quantidade de cabos exigida a depender de porte do navio.

Resumo das quantidades e tipo de cabos utilizados nos planos de amarração estudados no Modelo Físico						
Plano	Cabos do navio			Cabos de terra		
	Qtd.	Material	MBL (tf)	Qtd.	Material	MBL (tf)
185.000_PIVN_1_MATRIZ	16	Polipropileno	72	12	HMPE	180
185.000_PIVN_2_MATRIZ	16	Polipropileno	72	12	HMPE	180
185.000_PIVN_3_MATRIZ	16	Polipropileno	72	12	HMPE	180
210.000_PIVN_1_MATRIZ	14	Polipropileno	80	14	HMPE	180
250.000_PIVN_1_MATRIZ	15	HMPE	100	12	HMPE	180
250.000_PIVN_2_MATRIZ	15	POLI	80	12	HMPE	180
300.000_PIVN_1_MATRIZ	20	HMPE	100	17	HMPE	180
400.000_PIVN_1_MATRIZ	22	HMPE	100	180	HMPE	180

8. SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DE TENSÃO NO PÍER 4

O Píer 4 é equipado com um sistema de monitoramento que permite controlar as tensões nos cabos no período em que o navio estiver atracado (Figura 19). Ele tem o objetivo de controlar as tensões e manter os cabos sempre solidarizados, equiparados, tanto do navio quanto de terra. Este sistema pode ser operado tanto de forma remota, através do Centro de Controle de Amarração (CCA), quanto *in-loco*, os comandos de tensionamento e/ou de liberação dos cabos dos guinchos de terra ou dos ganchos. Também são emitidos alertas do nível de tensão nos cabos. O sistema supervisor funciona indicando os dados lidos nos equipamentos, provenientes das células de carga, transdutores de pressão, de temperatura, encoders, sensores de nível, sensores de fim de curso, sensores de status e de alarmes. Toda lógica de monitoramento de tensão foi programada no PLC, visando maior confiabilidade do sistema.

O sistema supervisor permite ao operador a seleção da forma de operação e do número de guinchos e ganchos conforme a necessidade do navio atracado. A janela principal do sistema é a janela de monitoramento geral, todas as linhas em operação e suas tensões são representadas, assim como, o navio e o plano de amarração.

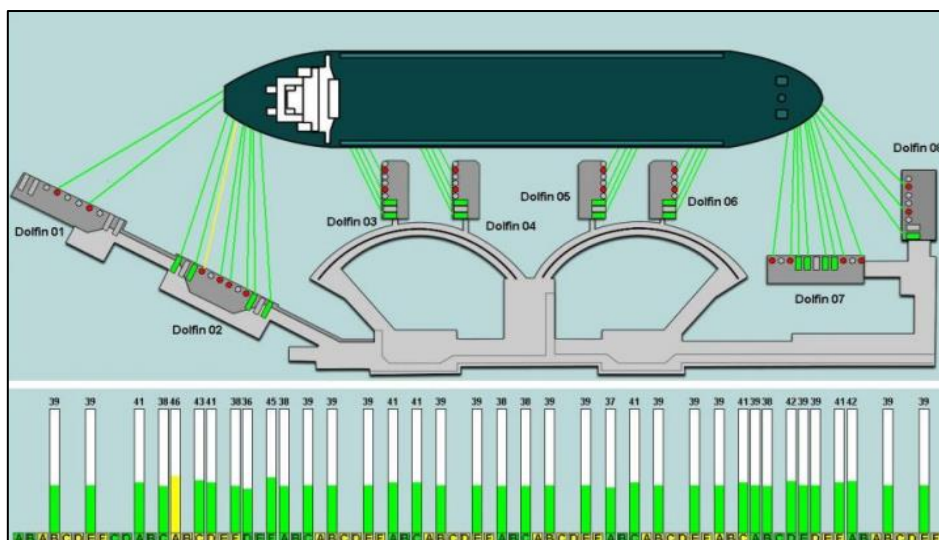


Figura 23: Sistema de Amarração Píer 4 – CCA.
Fonte: Sistema de Monitoramento da Vale, 2024.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico 1 demonstra o cabo de terra GTA do Dolfin 08 recebendo uma projeção de carga de tensão chegando a 24 toneladas. Informa ainda que, o cabo sofreu um acúmulo de tensão chegando a 37.827 toneladas durante toda a operação, levando em consideração o início do cabo passado para bordo (em operação) até sua retirada minutos antes da desatracação do navio. Esses dados são favoráveis para que se tenha mais insumos para o acompanhamento de controle para a troca ou substituição do cabo HMPE nas operações do terminal. O controle atual consta horas de operação e tempo de utilização apenas.

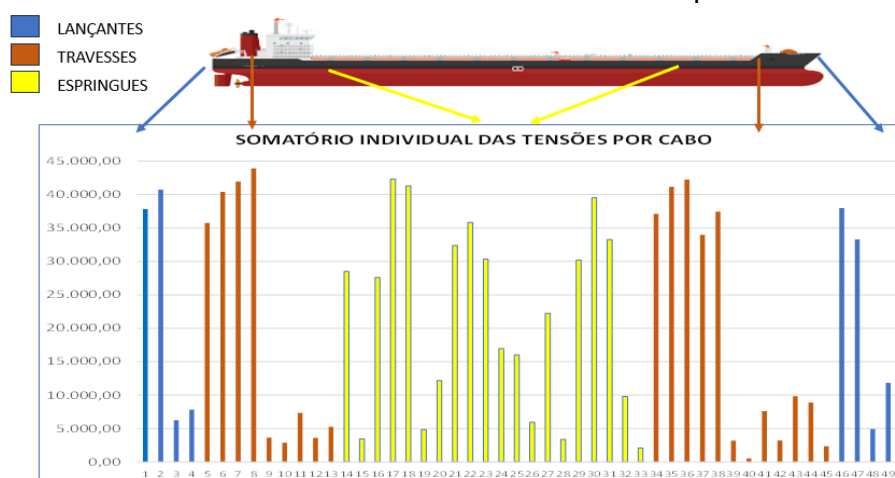
Gráfico 1: Projeção de tensão.



Já no gráfico 2, observa-se o somatório das tensões de todos os cabos de amarração como lançantes, espringues e travesses (Cabos de terra e do navio), utilizados na amarração do navio SEA INDONESIA ao longo de um determinado período (desde o momento em que os cabos são passados para bordo até a sua retirada). Esse somatório representa a carga total exercida.

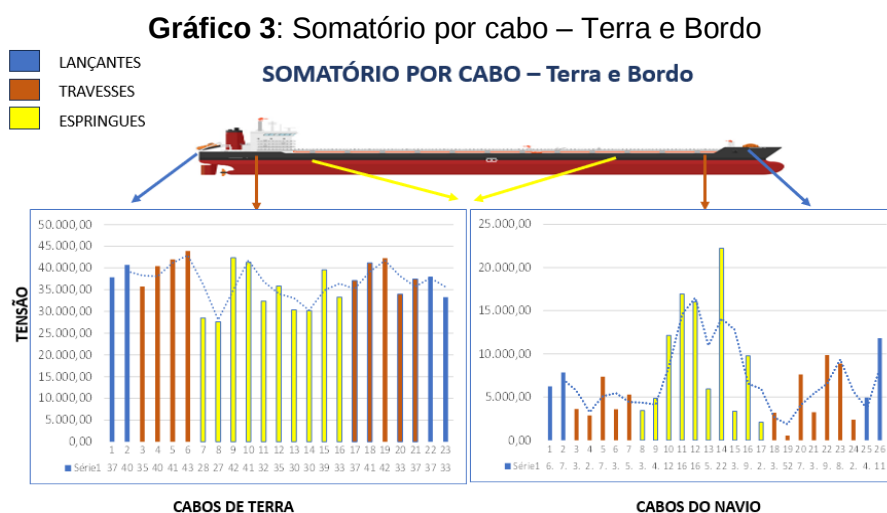
No entanto, para um entendimento mais aprofundado, optou-se por separar esses dados em gráficos individuais que representam as contribuições de cada fonte de tensão, tais como correntes oceânicas e outros fatores relevantes. Dessa forma, a análise detalhada das contribuições específicas de cada componente para o somatório total de tensão, possibilita uma compreensão mais abrangente dos fatores que influenciam as cargas nos cabos de amarração, contribuindo para a tomada de decisões embasadas em dados concretos e na implementação de medidas eficazes para garantir a integridade das estruturas marítimas, o que para esse gráfico, não fica claro devido à condição apresentada de uma variação relevante de tensões distribuídas entre popa e a proa do navio.

Gráfico 2: Somatório individual das tensões por cabo.



Os gráficos demonstram maior concentração de tensão nos cabos de terra em comparação aos cabos de bordo, crucial para direcionar o foco do estudo para os cabos que recebem maior tensão. Ao analisar dois gráficos distintos que ilustram essa disparidade na distribuição de tensão (Gráfico 3), é possível identificar claramente a assimetria na carga suportada pelos diferentes cabos. Essa observação sugere que os cabos de terra estão sujeitos a maiores forças e, portanto, podem estar mais suscetíveis a desgaste e potenciais falhas.

Portanto, o direcionamento do estudo para os cabos que recebem maior tensão é fundamentado na necessidade de compreender e mitigar os riscos associados a essa concentração de forças. Ao priorizar a análise e monitoramento dos cabos com maior tensão, é possível implementar estratégias de manutenção preventiva e intervenções específicas para garantir a segurança e a confiabilidade operacional.

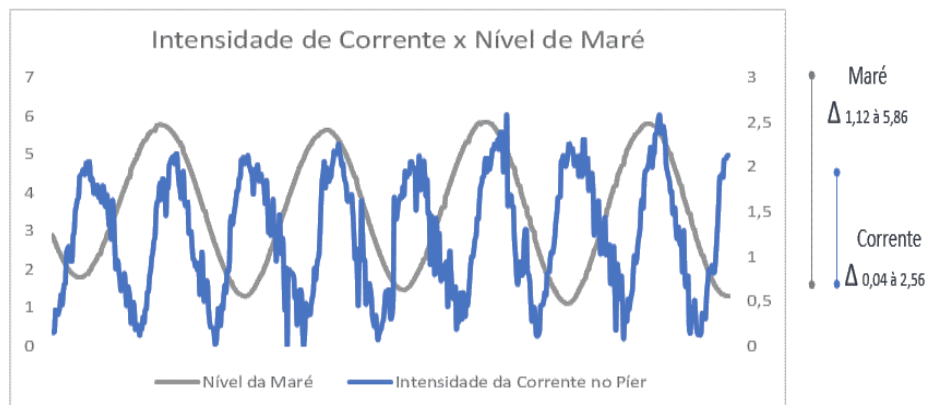


A relação entre a intensidade de corrente e a amplitude de maré pode ser crucial para compreender a dinâmica do ambiente marinho. A amplitude de maré está diretamente relacionada à variação vertical do nível do mar, enquanto a intensidade de corrente indica a velocidade e direção do fluxo de água conforme demonstrado no gráfico.

Ao analisar o gráfico 4, que representa a intensidade de corrente e a amplitude de maré, é possível identificar padrões e correlações que indicam como as variações na amplitude da maré afetam a intensidade das correntes em uma determinada área costeira. Essa relação é essencial para compreender os processos oceanográficos locais e pode ter implicações significativas em atividades como navegação, pesca e engenharia costeira.

O gráfico 4 demonstra ainda que, durante os períodos de marés altas (preamar) as correntes apresentam maior intensidade devido à maior diferença de altura da água entre maré alta e baixa, assim, as manobras no Píer são durante dois momentos, estofo da baixa mar e 2 horas antes do estofo do preá mar.

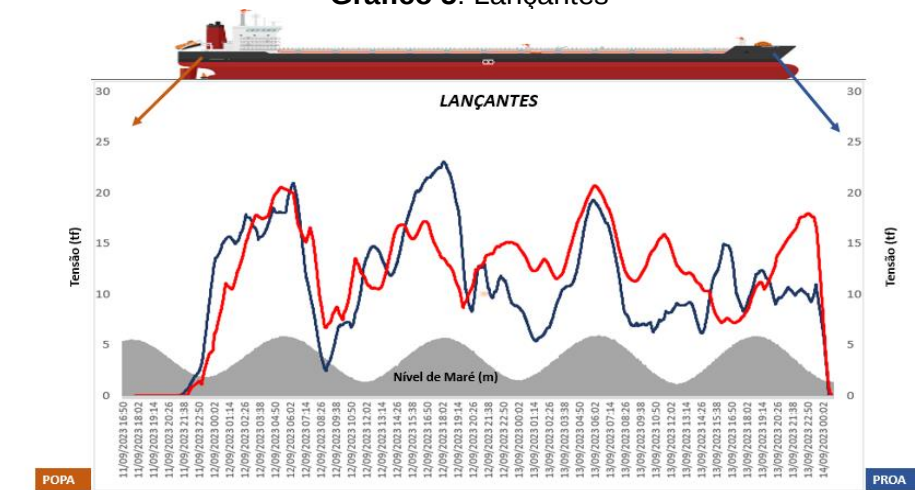
Gráfico 4: Intensidade de corrente x nível de maré



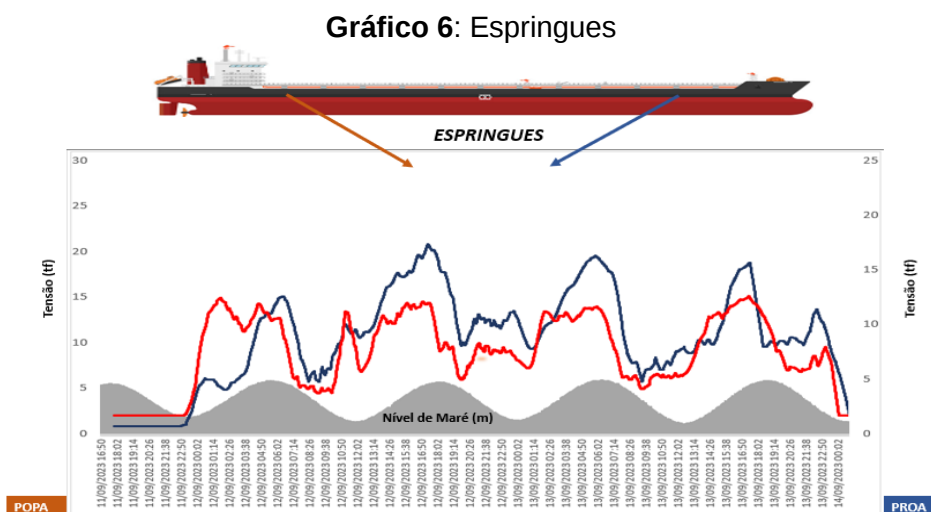
Através da análise do Gráfico 5, observou-se um padrão consistente relacionado ao comportamento dos cabos de lançantes em resposta às variações do nível do mar. Após cada descida no nível de maré, foi constatado um afrouxamento nos cabos de amarração, sendo esse efeito mais acentuado nos lançantes de proa e de forma mais suave nos lançantes de popa. Essa observação sugere uma correlação entre as variações do nível do mar e o comportamento dos cabos de amarração, indicando que as forças exercidas sobre os cabos estão intimamente ligadas às mudanças no ambiente marítimo.

O fato de o afrouxamento ser mais pronunciado nos lançantes de proa em comparação com os de popa pode estar relacionado à direção e intensidade das correntes, bem como à distribuição da carga ao longo da embarcação. Essa análise é fundamental para compreender o impacto das variações do nível do mar no tensionamento dos cabos de lançantes e pode fornecer insights valiosos para o planejamento de operações.

Gráfico 5: Lançantes



Na análise dos cabos de espringues (Gráfico 6), observa-se que antes mesmo da subida do nível da maré, já se inicia um ganho de tensão nos cabos de amarração. Essa tensão aumenta de forma mais acentuada nos espringues de proa e de maneira mais suave nos espringues de popa, mantendo uma certa constância ao longo do tempo. Esse comportamento sugere que fatores como a direção e intensidade das correntes, a distribuição da carga na embarcação e a interação com o ambiente marinho desempenham um papel significativo na tensão dos cabos de espringues. O início do ganho de tensão antes da subida do nível da maré indica uma resposta dinâmica dos cabos às condições ambientais, possivelmente influenciada pela mudança na força exercida pela água sobre a embarcação à medida que o nível da maré se altera.

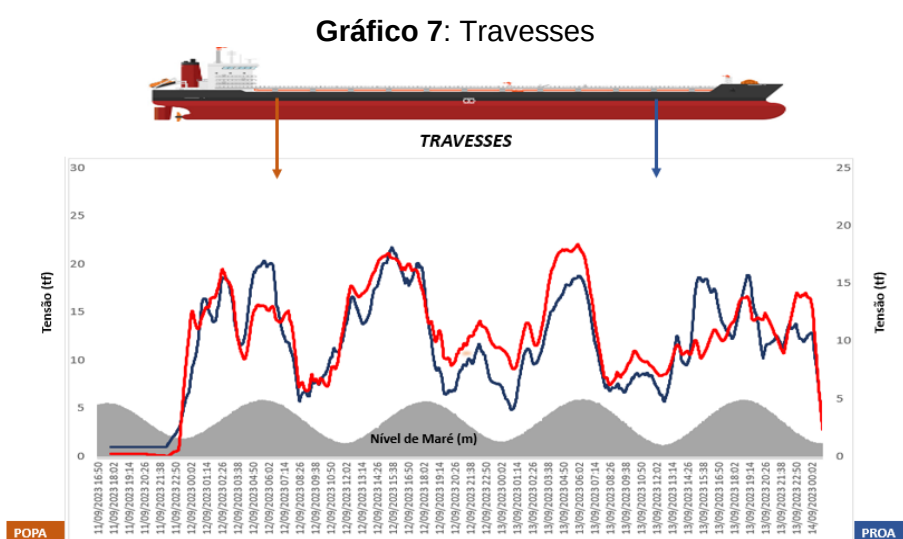


Na análise dos traveses (Gráfico 7), observa-se que a subida nas tensões dos cabos de amarração ocorre de forma antecipada em relação à subida da maré, o que sugere uma intervenção humana, uma vez que a interação humana faz parte das operações. Essa antecipação na subida das tensões pode ser resultado de ações intencionais para compensar a condição natural anterior da descida da maré, que tende a criar folgas nos cabos de amarração.

A intervenção humana para antecipar a tensão nos traveses pode estar relacionada à necessidade de manter a segurança e estabilidade da embarcação durante as variações do nível do mar. Ao reconhecer o padrão natural de folga nos cabos durante a descida da maré, medidas preventivas são tomadas para garantir que a embarcação permaneça adequadamente segura e alinhada antes

mesmo do início da subida da maré.

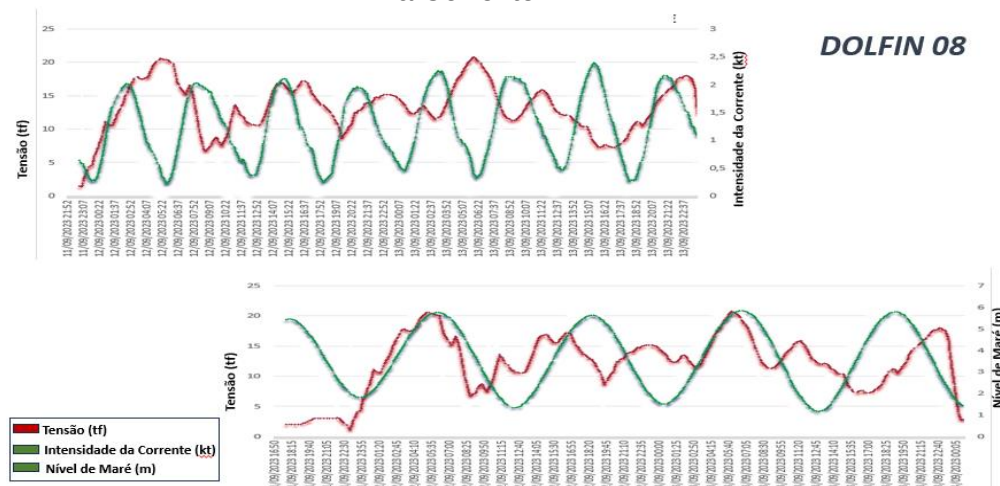
Essa análise sugere a importância do monitoramento atento e da intervenção proativa por parte dos operadores marítimos para garantir a segurança e estabilidade das embarcações, especialmente durante as variações do nível do mar. O entendimento desses padrões e ações preventivas podem contribuir significativamente para a operação segura e eficiente das embarcações em diferentes condições ambientais.



Outra variável interessante para avaliação em relação à amarração do navio é a intensidade da corrente. Para este estudo analisamos a mesma embarcação, o SEA INDONESIA, o trabalho realizado de forma geral pelos cabos nos Dolphins de 08 a 15, exceto o Dolphin 10 do Píer 4 Norte.

Com relação ao Dolphin 08, é possível notar de forma clara, que os momentos em que a intensidade da corrente está em um nível baixo, não dá motivos para as tensões descenderem, como evidencia o gráfico 8. Antes, permanecem em um nível de operação com poucas variações, independente da corrente.

Gráfico 8: Dolfin 08 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.



Já para o Dolphin 09, a tensão tende a se manter em alta quando a correnteza está mais forte, dando pequenas aliviadas, à proporção que o nível de corrente vai descendo (Gráfico 9). O mesmo fenômeno tende a se repetir para os Dolphins 11 e 12, como observado nos gráficos 10 e 11, respectivamente.

Gráfico 9: Dolfin 09 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.

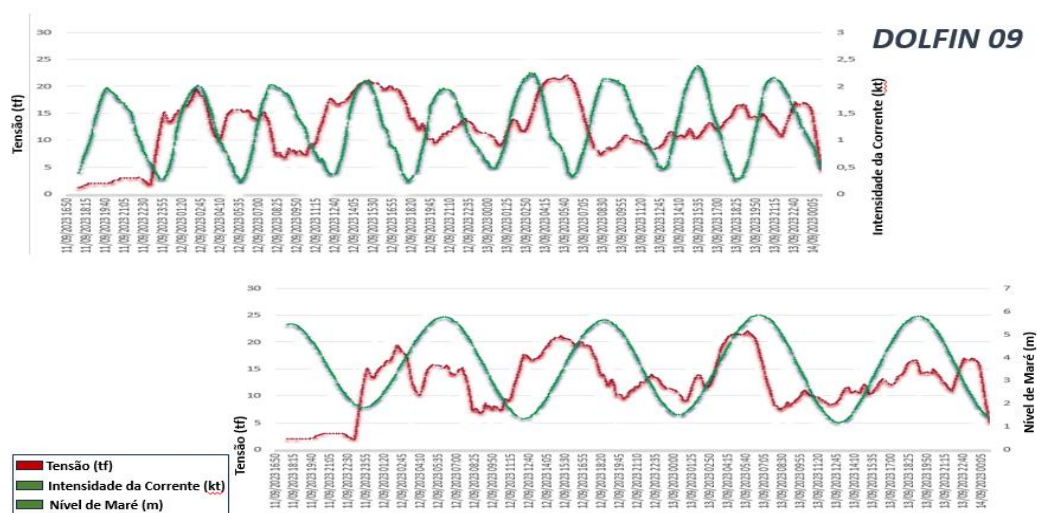


Gráfico 10: Dolfin 11 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.

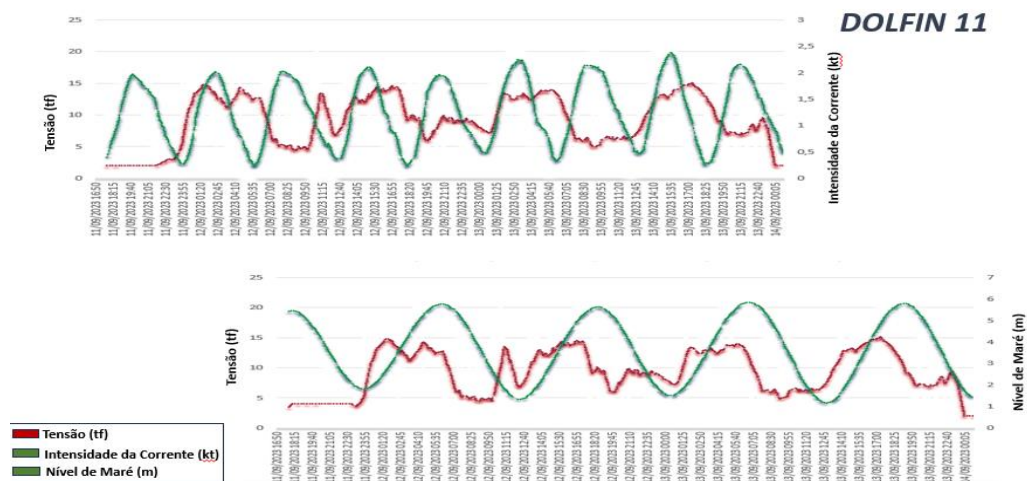
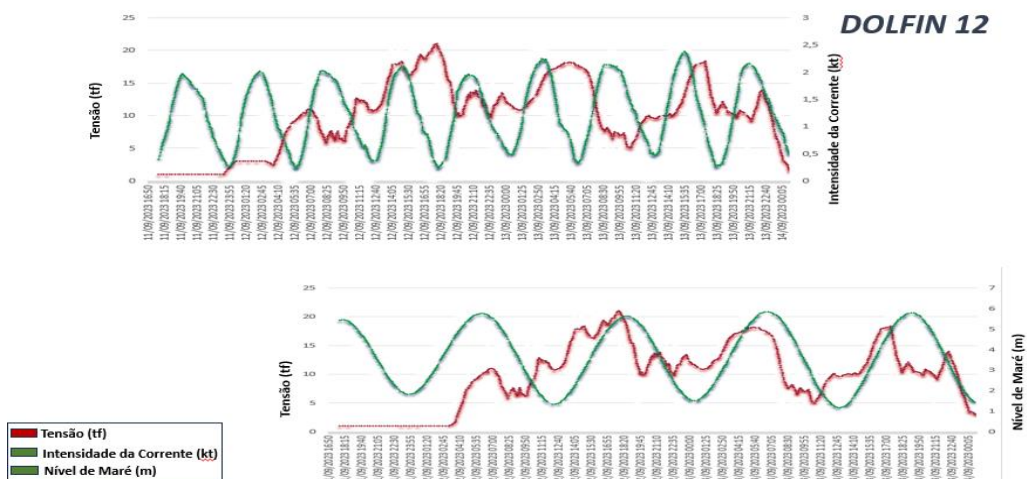


Gráfico 11: Dolfin 12 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.



Por outro lado, nos Dolphins 13 e 14 as tensões e intensidade das correntes tendem a se comportar de maneira simétricas. Ou seja, quando a corrente sobe, a tensão desce, e quando a corrente desce, a tensão tende a subir (Gráficos 12 e 13, respectivamente).

Em todos os gráficos aqui apresentados, foi possível identificar padrões que sugerem intervenções ou decisões operacionais para controlar as tensões. A análise dos gráficos revela que a equipe responsável pela operação dos cabos tomou ações específicas para ajustar e manter as tensões dos cabos dentro de

parâmetros desejados, possivelmente em resposta a mudanças nas condições ambientais, operacionais ou outras variáveis relevantes.

A síntese dessa afirmação destaca a importância do monitoramento atento e da capacidade de resposta da equipe responsável para gerenciar efetivamente as tensões dos cabos de amarração durante as operações marítimas.

Gráfico 12: Dolfin 13 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.

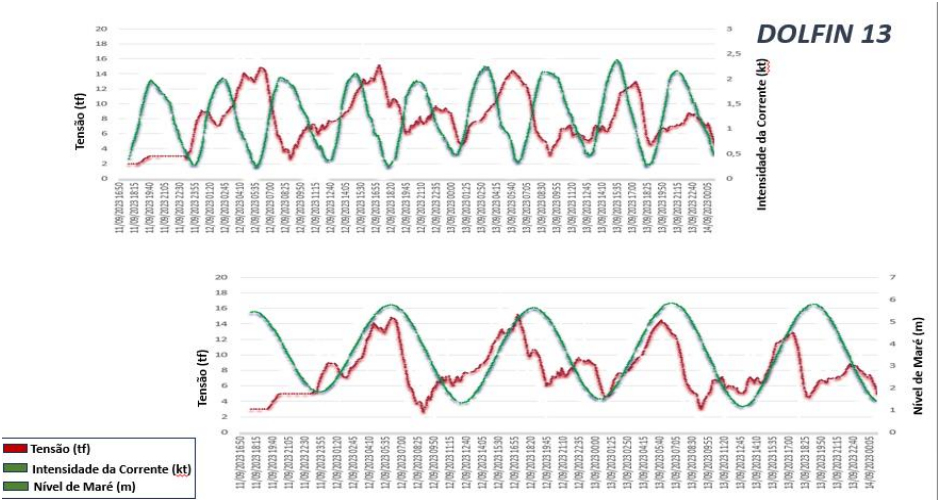
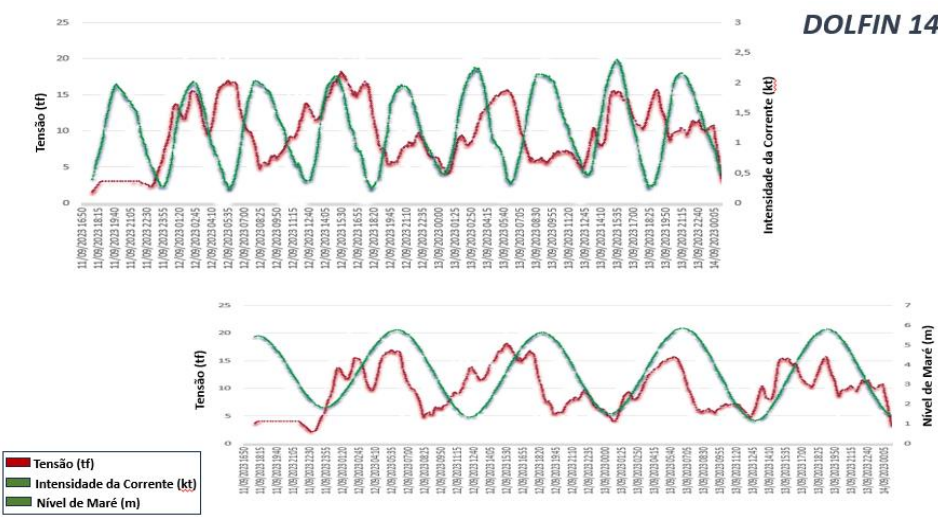
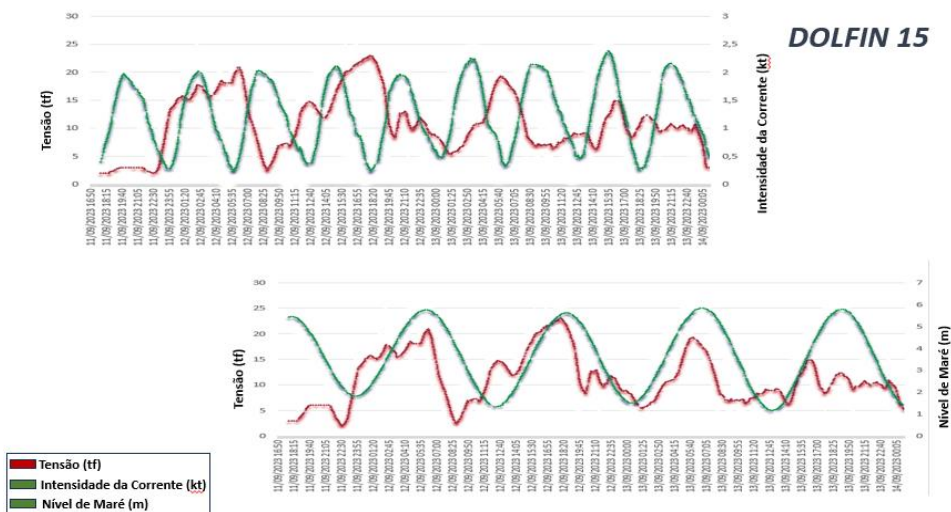


Gráfico 13: Dolfin 14 - Análise Comparativa: Tensão X Nível de maré/Tensão X Intens. Da Corrente.





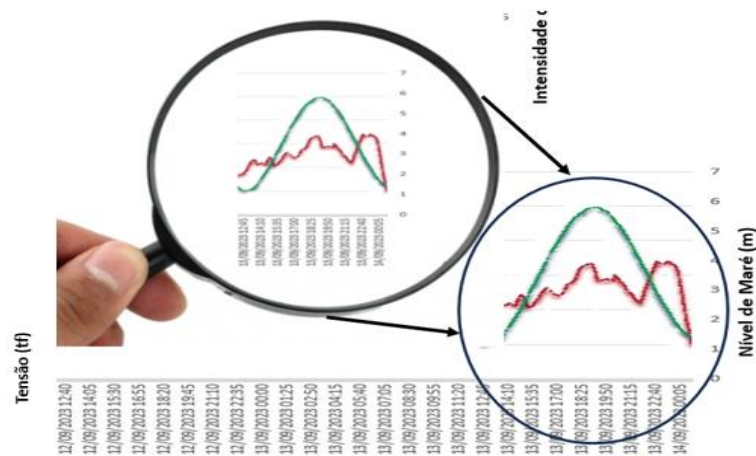
A escolha de um momento aleatório, como o Dólfim 09, para analisar as variações nas tensões dos cabos de amarração revela uma intencionalidade em compreender e abordar situações de desestabilidade na operação. Ao selecionar um ponto que demonstra desafios ou instabilidade, como o observado no gráfico 14, os analistas buscam identificar possíveis fatores contribuintes para tais condições e desenvolver estratégias para mitigar ou prevenir essas situações no futuro.

Essa abordagem analítica intencional pode envolver a identificação de padrões recorrentes de desestabilidade, a avaliação do impacto das variações ambientais e operacionais nas tensões dos cabos de amarração e a proposição de medidas corretivas ou preventivas. Ao escolher um momento representativo de desestabilidade, os analistas buscam aprofundar a compreensão das condições que levaram a essa situação e promover melhorias nos procedimentos operacionais, treinamento da equipe ou até mesmo ajustes nos equipamentos.

Essa análise intencional do momento de desestabilidade demonstra um compromisso com a melhoria contínua, a segurança operacional e o aprimoramento das práticas relacionadas ao manejo dos cabos de amarração. Ao compreender as circunstâncias que levam à desestabilidade, é possível implementar medidas proativas para garantir operações mais seguras e eficientes no futuro.

Gráfico 14: Momento de instabilidade no Dolfim 09.

DOLFIN 09

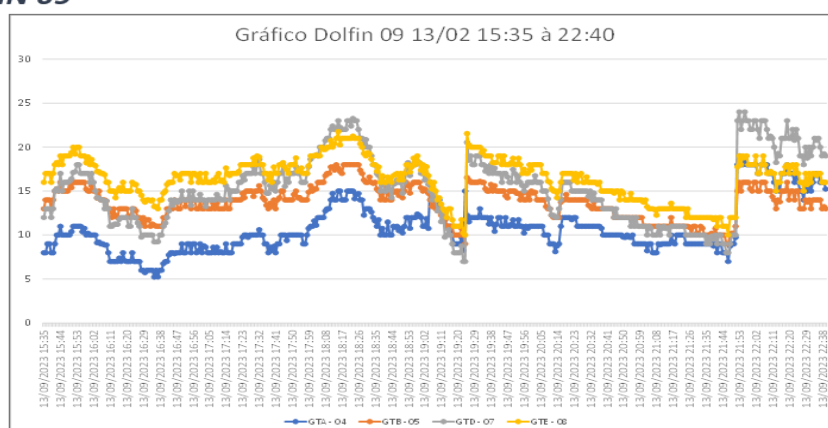


Para melhor entendimento, foi necessário abrir o dado anterior (Gráfico 09), que estava demonstrado em média, neste caso, os cabos do D09 foram escritos de forma individual. Os quatro cabos, apesar de não trabalharem com a mesma tensão, apresentam uma tendência. Essa situação pode indicar que, apesar das diferenças absolutas nos valores das tensões, as tendências ao longo do tempo são semelhantes entre as quatro fontes.

Essa análise sugere que, embora as forças exercidas sejam diferentes em magnitude, a variação ou comportamento ao longo do tempo é consistente entre as diferentes fontes de tensão. Essa consistência nas tendências pode ser importante para compreender como essas tensões impactam o sistema ou processo em questão, mesmo que os valores absolutos variem. Principalmente nos momentos distintos onde apresentam picos de tensão para menor e de forma repentina para maior com a mesma tendência para os quatro cabos.

Gráfico 15: Dolfin 09 - Momento de Instabilidade

DOLFIN 09



A análise do gráfico 16, sugere que a carga que entra no navio está diretamente relacionada à tensão exercida nos cabos de amarração. Isso indica que o aumento carga e o adernamento da embarcação, influenciam diretamente nas forças exercidas sobre os cabos de amarração, impactando as condições operacionais e a segurança do navio.

Essa relação entre a carga e a tensão nos cabos de amarração ressalta a importância de considerar cuidadosamente a distribuição de peso e a carga operacional ao planejar as operações de embarque e desembarque, bem como ao realizar atividades de carga e descarga no navio. A compreensão dessa influência pode orientar decisões operacionais para garantir que as tensões nos cabos permaneçam dentro de limites seguros durante todas as fases da operação.

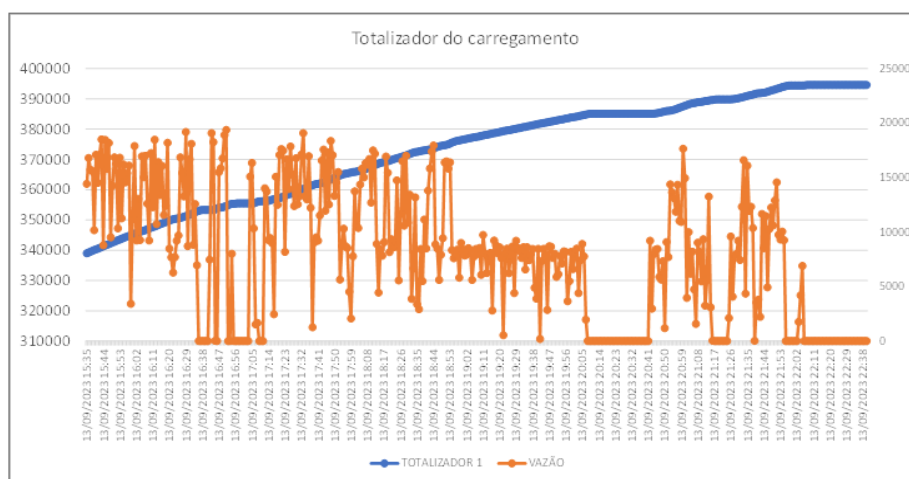
Ao sinalizar a deficiência dessa informação devido à ausência de dados, como o adernamento não registrado, é importante destacar que a falta de informações abrangentes pode limitar a compreensão completa dos fatores que influenciam as tensões nos cabos de amarração. O adernamento, ou inclinação lateral do navio, é um elemento crucial que pode impactar significativamente as forças exercidas sobre os cabos de amarração.

É importante destacar que, ao não registrar o adernamento, a análise fica incompleta, pois essa variável pode ser fundamental para compreender as variações nas tensões dos cabos. A ausência de dados sobre o adernamento pode prejudicar a capacidade de avaliar com precisão a relação entre a carga do navio e as tensões nos cabos de amarração, especialmente em situações em que o adernamento significativo poderia alterar substancialmente essas tensões.

Portanto, ao sinalizar essa deficiência, vale ressaltar a importância da inclusão de dados abrangentes e relevantes, como o adernamento, para uma análise mais completa e precisa das condições operacionais e da segurança das operações de atracação e desatracação.

Gráfico 16: Totalizador do carregamento.

DOLFIN 09



A sequência de análise dos dados de tensão e suas derivadas durante a estadia do navio no cais, D08 e D15 (Figura 24), revela informações importantes sobre o comportamento dos cabos de lançantes, travessas e espringues. O D08 exibe uma variação significativa nas tensões até 25% da carga embarcada. Após esse ponto, observa-se uma estabilização das tensões, conforme demonstrado na figura 25, com menores picos de variação.

Adicionalmente, foi constatado que os cabos lançantes de popa são menos afetados pelas variáveis externas, enquanto os cabos lançantes de proa mostram sinais de instabilidade ao longo do ciclo de carregamento. Os maiores picos de tensão nos cabos de proa estão diretamente relacionados aos ajustes efetuados pelo Sistema de Controle de Amarração (CCA).

Ademais, é possível verificar o comportamento das tensões no ponto D08: a análise do D08 revelou que as tensões nos cabos de amarração apresentam instabilidade até que 25% da carga total esteja embarcada. Durante essa fase, os gráficos (Figura 25) de tensão indicam picos elevados e flutuações significativas. Após o embarque de 25% da carga, as tensões começam a se estabilizar. A curva do gráfico evidencia uma diminuição nas variações de tensão,

com picos menores e mais regulares, indicando uma estabilização do sistema de amarração.

Foi observado também influência das variáveis externas nos lançantes de popa: os cabos lançantes de popa demonstram uma menor sensibilidade às interferências das variáveis ambientais, tais como ventos e correntes marítimas. Isso sugere que a posição e o ângulo de amarração dos cabos de popa conferem maior resistência a essas influências. Ao longo do ciclo de carregamento, os cabos lançantes de proa apresentam sinais claros de instabilidade (Figura 24). Os gráficos de tensão destes cabos mostram variações mais acentuadas e frequentes.

Desse modo, os picos mais elevados de tensão nos cabos de proa estão diretamente correlacionados com os ajustes realizados pelo Sistema de Controle de Amarração (CCA). Esses ajustes são necessários para compensar os efeitos das variáveis externas e manter a integridade da amarração, mas resultam em variações de tensão que se refletem nos picos observados.

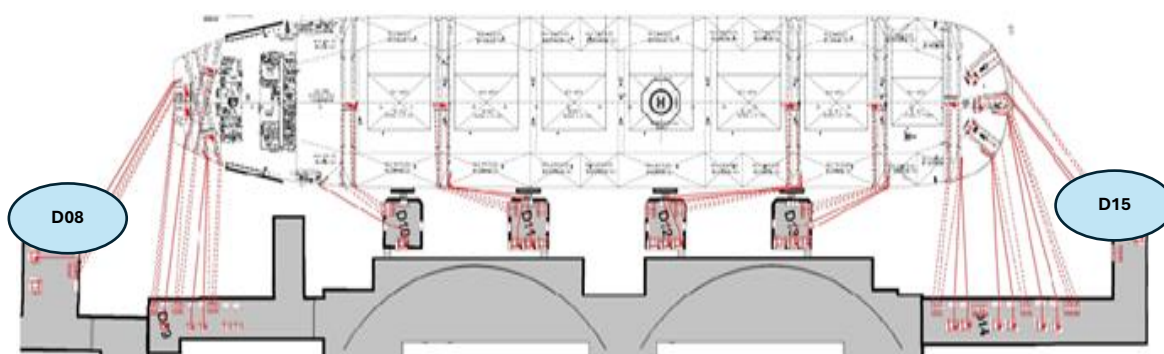


Figura 24: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte -Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.

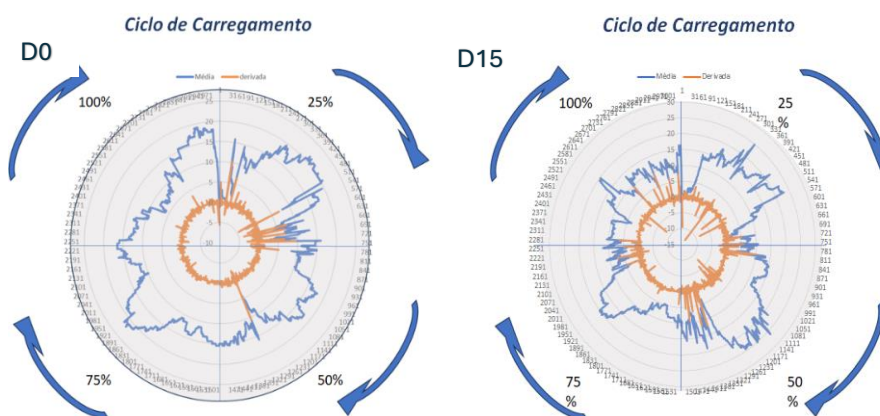


Figura 25: Ciclo de carregamento

Os gráficos correspondentes aos D12 e D13, figuras 26 e 27, indicam uma grande variação nos picos de tensão, resultando em exigências significativas tanto nos cabos springs de popa quanto nos de proa durante todo o ciclo de carregamento. Observa-se um destaque nas tensões dos cabos de popa em relação aos de proa. Adicionalmente, após o embarque de 50% da carga, a variação de tensão tende a diminuir, exigindo menos ajustes nos cabos até a saída do navio.

Além do mais, os gráficos da figura 27, para os pontos D12 e D13 mostram variações significativas nos picos de tensão ao longo do ciclo de carregamento. Essas variações indicam que os cabos springs, tanto de popa quanto de proa, são altamente solicitados desde o início até o final do processo de carregamento. Embora ambos os cabos de popa e de proa sejam submetidos a tensões elevadas, há um pequeno destaque na maior exigência dos cabos de popa em comparação aos de proa. Isso pode ser atribuído a fatores como a posição dos cabos e as condições específicas de amarração.

A análise dos dados revela que, após o embarque de 50% da carga (Figura 27), a variação nas tensões tende a diminuir. Esta fase de estabilização é refletida por uma redução nos picos de tensão, indicando uma menor exigência de ajustes nos cabos de amarração. Logo, com a estabilização das tensões após a marca de 50% de carga, há uma necessidade reduzida de ajustes nos cabos até a saída do navio. Isso sugere que o sistema de amarração atinge um estado de equilíbrio que minimiza as flutuações e permite uma operação mais eficiente e segura.

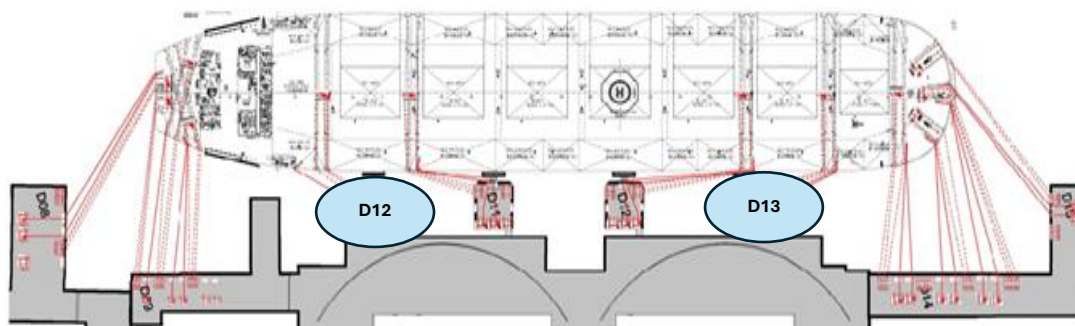


Figura 26: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte -Terminal Marítimo de Ponta da Madeira.

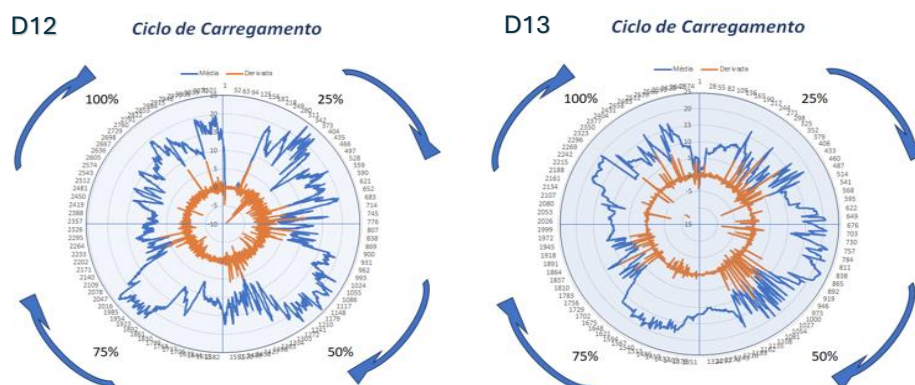


Figura 27: Ciclo de carregamento

Na imagem 28, que representam os D09 e D14, evidencia que os cabos travesses de proa e popa sofrem os maiores ajustes durante o ciclo de carregamento, com uma ênfase particular nos cabos de proa. A análise dos gráficos indica que, durante o procedimento de retirada dos cabos, os de proa sofrem desigualdade de tensão em comparação aos de popa, devido ao fato de serem os últimos a serem removidos. Este fenômeno é claramente visível nos dados dos gráficos da figura 29.

Durante todo o ciclo de carregamento, os cabos travesses de proa e popa estão sujeitos a ajustes significativos. Os gráficos dos pontos D09 e D14 (Figura 29), indicam picos elevados de tensão, refletindo as adaptações necessárias para manter a estabilidade da embarcação. Além disso, há uma observação de que os cabos de proa sofrem ajustes ligeiramente mais pronunciados em comparação aos de popa. Este pequeno destaque pode ser atribuído a fatores como a posição dos cabos e as influências dinâmicas específicas da amarração de proa.

No procedimento de retirada dos cabos, os travesses de proa tendem a sofrer uma desigualdade de tensão. Como os cabos de proa são os últimos a serem removidos, eles suportam tensões residuais que não são compartilhadas com os cabos de popa. Essa desigualdade de tensão é claramente visível nos gráficos de tensão (Figura 29), onde os cabos de proa mostram variações maiores no momento da remoção. Esse comportamento destaca a necessidade de monitoramento cuidadoso e estratégias adequadas de alívio de tensão para evitar danos aos cabos e assegurar uma operação segura.

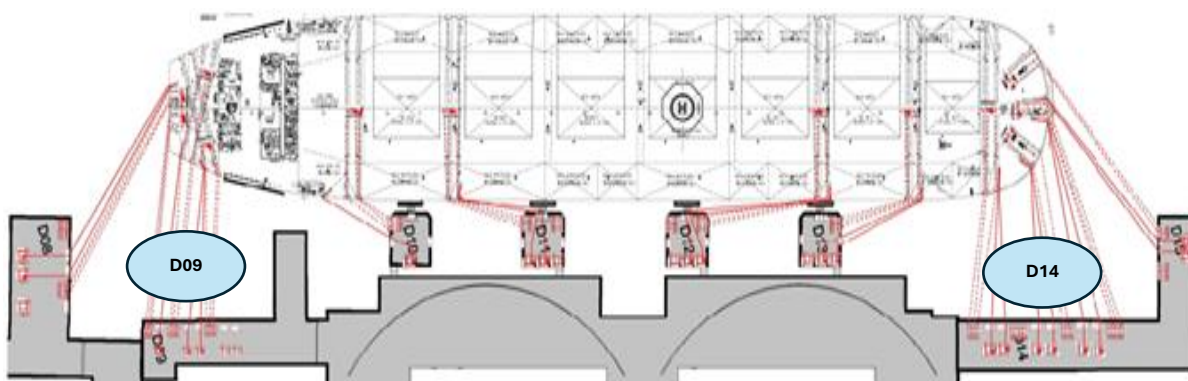


Figura 28: Arranjo de amarração de navios no Píer 4 Norte do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

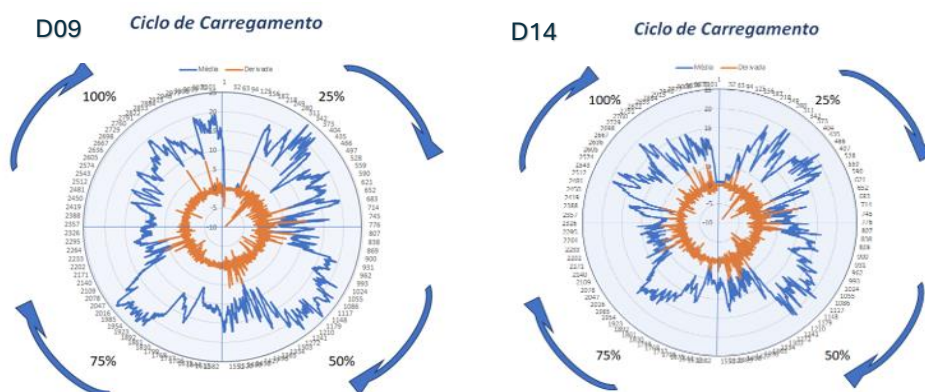


Figura 29: Ciclo de carregamento

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A desatracação involuntária de navios graneleiros é uma preocupação crescente e representa um desafio significativo para a segurança das operações portuárias e para a integridade das embarcações. A desatracação não planejada não apenas coloca em risco a vida e a segurança da tripulação, como também pode resultar em danos materiais extensivos, impactando diretamente nas operações portuárias e na eficiência do transporte marítimo.

Eventos de desatracação espontânea já aconteceram no terminal marítimo de ponta da madeira – Píer 4, por isso é cada vez mais importante entender melhor as tensões sofridas pelos cabos de amarração, para garantir a segurança das embarcações, a preservação dos equipamentos, ativos da

companhia e um maior tempo de utilização dos cabos trazendo economias para o processo.

Ao considerar as informações fornecidas, entende-se que esta dissertação atendeu os objetivos propostos, ao enfatizar a importância das fontes de mudanças nas tensões, destacando como a amplitude de maré, a intensidade de maré e a carga embarcada desempenham papéis significativos na análise da estabilidade da embarcação. Esses fatores influenciam diretamente o comportamento da embarcação em diferentes condições operacionais e durante o carregamento, demonstrando a necessidade de uma compreensão abrangente e integrada para avaliar adequadamente sua estabilidade.

Além disso, este estudo trouxe à tona questões cruciais relacionadas à parte operacional e ao comando exercido pelo operador de CCA, ressaltando como esses aspectos têm impacto direto nas tensões e na estabilidade da embarcação. A identificação desses elementos operacionais pode fornecer *insights* valiosos para aprimorar as práticas e protocolos relacionados à estabilidade das embarcações.

No entanto, é crucial reconhecer as limitações existentes, como a ausência do registro do adernamento da embarcação, que representa uma lacuna significativa na análise. A falta desses dados pode restringir a capacidade de realizar uma avaliação conclusiva e abrangente da estabilidade da embarcação sob diferentes condições operacionais.

Por fim, ao encerrar o relatório com ressalvas e ao reconhecer as oportunidades para futuros estudos, destaca-se o compromisso com a progressão do conhecimento na área. O trabalho não apenas identifica questões relevantes, mas também aponta para possíveis direções para pesquisas subsequentes, demonstrando um comprometimento contínuo com o avanço do campo da análise de estabilidade de embarcações.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. A. F., JUNQUEIRA, L. A. P., FREDDO, A. C. D. M. O sindicato dos estivadores do Porto de Santos e o processo de modernização portuária. **Revista de Administração Pública**, p. 997–1017, 2006.
- ARNOLD, J. **Ports tariff evaluation**. Washington D.C.: [s.n.], 1987.
- BANDARA, Y. M.; NGUYEN, H-O. Influential factors in port infrastructure tariff formulation, implementation and revision. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 85, p. 220–232, 2016.
- BOTTASSO, A. *et al.* Ports and regional development: a spatial analysis on a panel of European regions. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 65, p. 44–55, 2014.
- BRASIL. Decreto nº 24.508, de 29 de junho de 1934. Define os serviços prestados pelas administrações dos portos organizados, uniformiza as taxas portuárias, quanto à sua espécie, incidência e denominação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1934.
- BRASIL. Lei nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o regime jurídico da exploração dos portos organizados e das instituições portuárias e das outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 66.
- BRASIL. **Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013**. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm>. Acesso em: 27 set. 2023.
- CAMARGO, R., HARARI, J. Marés. *In*: CASTELLO, J. P., KRUG, L. C. **Introdução às ciências do mar**. Pelotas, RS: Editora Textos, 2015. p.226-255.
- CSL. Disponível em: < <http://www.csl.com.br/home/blog-9-cabos-trancados-perdem-significativa-resistencia-quando-submetidos-a-torcoes>> . Acesso em: 12 mar. 2023.
- CSL. **Guia de inspeção e aposentadoria de cabos HMPE**. Disponível em: http://www.csl.com.br/projetos/csl.com.br/painel/arquivos/File/Manual%20de%20Uso_cabos_hmpe.pdf . Acesso em: 12 mar. 2024.
- DIEESE – DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Perfil dos Trabalhadores nos Portos do Brasil**. Brasília, DF: Dieese, CUT-CNTT, 2015. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/perfildecategoria/2013/perfilTrabalhadorPortuarioRAIS2013.pdf> . Acesso em: 29 set. 2023.

DE SOUSA, E. F. *et al.* Proposta de modelo de gestão estratégica de custos para autoridades portuárias: o caso do Porto de Vitória. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 25., 12–14 nov. 2018, Vitória, ES. **Anais Eletrônicos** [...]. Vitória, ES: Associação Brasileira de Custos, 2018. Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4557>>. Acesso em: 29 set. 2023.

EGBERSTEN, J. **Smart ports and smart infrastructure, big data and simulations, Port of Amsterdam**, 2016. Disponível em: <http://www.dutchbss.org/wp-content/uploads/2016/11/simulations20161208_JanEGbersten.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

HA, M-H. *et al.* Revisiting port performance measurement: A hybrid multi-stakeholder framework for the modeling of port performance indicators. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 103, p. 1-16, 2017.

HERRERO, G. IoT in port of the future, Atos, 2016. Disponível em: <http://cogistics.eu/wp-content/uploads/sites/2/2016/11/loT_PortFuture.pdf>. Acesso em 27 de setembro de 2023.

INAVIGATE. Marés - o sobe e desce dos mares. Visualizado em: <<https://www.inavigate.com.br/post/mares>>. Acesso em: 19 de maio de 2024.

LUNKES, R. J. *et al.* Tarifas portuárias: um estudo comparativo entre os sistemas portuário brasileiro e espanhol. **Administração Pública e Gestão Social**, v. 6, n. 3, p. 127–140, 2014.

MACIEL, Regina Heloisa *et al.* Análise do trabalho portuário: transformações decorrentes da modernização dos portos. **Rev. Psicol., Organ. Trab.**, Brasília, DF, v. 15, n. 3, p. 309–321, set. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17652/rpot/2015.3.605>>. Acesso em: 27 set. 2023.

MARLOW, P. B.; PAIXÃO CASACA, A. C. Measuring lean ports performance. **International Journal of Transport Management**, v. 1, n. 4, p. 189–202, 2003.

MEIRINHO, A. G. S. A.; SILVA, L. R. A Convenção nº 137 da OIT e o futuro do trabalho portuário no Brasil. **Rev. TST**, São Paulo, v. 84, n. 4, out./dez. 2018.

NORMAM-32: NORMA DA AUTORIDADE MARÍTIMA Nº 32/DPC. **Diretoria de Portos e Costas**. Marinha do Brasil, 2015. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br/dpc/files/Normam%2032.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2023.

PEÑA ZARZUELO, Ignacio de la, FREIRE SEOANE, Maria de Jesus, LÓPEZ BERMÚDEZ, Beatriz. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 20, dez. 2020. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X20300480>
Acesso em: 27 set. 2023.

ROCHA, C. H.; MARTINS, F. G. D.; SILVA, F. G. F. D. Theoretical model for port tariff based on cost and managerial accounting and corporate finance. **Journal of Transport Literature**, v. 8, n. 1, p. 95–108, 2014.

SANTOS, I. O que são e como ocorrem. Blog da Engenharia. Disponível em: <
<https://blogdaengenharia.com/secoes/colunistas-blog-da-engenharia/mares-o-que-sao-e-como-ocorrem/>>. Acesso em 15 maio de 2024.

SILVA, V.G. **Modelagem dos padrões de circulação local e transporte de sedimentos dragados no Complexo Estuarino de São Marcos, São Luís, Ma.** Dissertação (Mestrado em Dinâmica dos oceanos e da terra) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro. 115p. 2016.

SOUSA, M. A. de. Portos empreendedores: proposta de um novo modelo de gestão portuária 2017. 137f. Tese (Doutorado em Transportes) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 2017. Disponível em:
http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/23740/1/2017_Maur%C3%ADcioAraquãdeSousa.pdf Acesso em: 27 set. 2023.

TALLEY, W. K.; NG, M.; MARSILLAC, E. Port service chains and port performance evaluation. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 69, p. 236–247, 2014.

TODA MATÉRIA.COM. Correntes marítimas. 2023. Disponível em:
<https://www.todamateria.com.br/correntes-maritimas/> Acesso em: 10 nov. 2023.

TONGZON, J. L. Port choice and freight forwarders. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 186–195, 2009.

WIKIPEDIA. **Navio (verbete)**. 2023. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Navio> Acesso em: 10 mar. 2024.

WILSON, R.; DELANEY, R. V. **12th Annual State of Logistics Report**. 2012.

VALE. 2023. Disponível em: <https://vale.com/pt/> Acesso em: 10 mar. 2024.

VALE. 2024. Disponível em: <https://vale.com/search-center?q=navios> Acesso em: 10 mar. 2024.

YUN PENG *et al.* Machine learning method for energy consumption prediction of ships in port considering green ports. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, 2020, 121564. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121564>.