



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE JURUTI
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MINAS**

LUCIANE DOS SANTOS PALMEIRA

**IMPACTO DA UMIDADE DO MINÉRIO DE BAUXITA NO TRANSPORTE
MARÍTIMO**

**JURUTI-PA
2023**

LUCIANE DOS SANTOS PALMEIRA

**IMPACTO DA UMIDADE DO MINÉRIO DE BAUXITA NO TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas, no Campus Universitário de Juruti, na Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Olímpio da Silva.

**JURUTI-PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

P172i Palmeira, Luciane dos Santos
Impacto da umidade do minério de bauxita no transporte marítimo / Luciane dos Santos Palmeira – Juruti, 2023.
48 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Adriano Olímpio da Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Universitário de Juruti, Bacharelado em Engenharia de Minas.

1. Umidade. 2. Transporte marítimo. 3. Liquefação. I. Silva, Adriano olímpio da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 549.7

LUCIANE DOS SANTOS PALMEIRA

**IMPACTO DA UMIDADE DO MINÉRIO DE BAUXITA NO TRANSPORTE
MARÍTIMO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas, no Campus Universitário de Juruti, na Universidade Federal do Oeste do Pará.

Conceito: APROVADA

Data de Aprovação: 13/01/2023



Documento assinado digitalmente
ADRIANO OLÍMPIO DA SILVA
Data: 19/01/2023 17:43:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Adriano Olímpio da Silva
Orientador - Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA)



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO ARTUR PINHEIRO ALVES JUNIO
Data: 20/01/2023 09:06:30-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr. Francisco Artur Pinheiro Alves Júnior
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)



Documento assinado digitalmente
ALINE ALVES DOS SANTOS NAUJORKS
Data: 19/01/2023 18:11:51-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dr^a. Aline Alves dos Santos Naujorks
Laboratório Central de Mato Grosso do Sul (LACEN/MS)

Dedico este trabalho ao meu filho Miguel que foi o meu combustível para lutar todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder todos os dias a paciência e sabedoria necessária para realização deste trabalho.

Aos meus pais que durante toda minha vida acadêmica não mediram esforços a fim de que eu pudesse chegar a tão sonhada graduação.

A Eliane Pimentel Sampaio e Gabriel de Souza Pimentel, padrinhos do meu filho que durante cada obstáculo incentivaram, contribuíram e possibilitaram a minha dedicação a este trabalho, minha eterna gratidão.

Aos meus amigos fiéis de jornada e aos colaboradores da empresa Silmar Navegação que contribuíram de diversas maneiras para conclusão deste.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adriano Olímpio da Silva, pelas correções, contribuições, mas principalmente pela humanidade durante este processo que me possibilitou realizar com maior empenho tal pesquisa.

Por fim, a todos que de alguma maneira contribuíram para este processo de aprendizado o meu muito obrigado.

Cada sonho que você deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir.

(Steve Jobs).

RESUMO

O presente trabalho demonstra a importância de se realizar os devidos controles em relação à umidade do minério de bauxita durante seu embarque nos porões dos navios, para que o transporte marítimo possa ocorrer de maneira segura. Utilizou-se como técnica para tal estudo a pesquisa de campo exploratório-descritiva, onde se coletou dados que possibilitaram demonstrar a importância de se controlar a umidade durante todo processo de embarque do minério de bauxita nos porões do navio, com a finalidade de manter sempre o teor de umidade da carga menor do que seu limite de umidade transportável (TML) - parâmetro regulatório determinado através de métodos de testes laboratoriais reconhecidos pela Organização Marítima Internacional. Como resultado deste processo espera-se que durante o transporte marítimo a carga não venha a se liquefazer o que pode causar o naufrágio do Navio. Concluiu-se que é necessário compreender e seguir os aspectos regulatórios determinados pela IMO que estabelece em seu Código Marítimo Internacional de Cargas Sólidas a Granel o International Maritime Solid Bulk Cargoes Code (IMSBC Code) as condições para se realizar tal transporte.

Palavras-chave: umidade; bauxita; IMO; transporte marítimo.

ABSTRACT

The present work demonstrates the importance of carrying out the necessary controls in relation to the temperature of the bauxite ore during its loading in the holds of the ships, so that the maritime transport can occur in a safe way. Exploratory-descriptive field research was used as a technique for this study, where data were collected that made it possible to demonstrate the importance of controlling humidity during the entire process of shipping the bauxite ore in the holds of the ship in order to always maintain the content cargo moisture lower than its transportable moisture limit (TML) - regulatory parameter determined through laboratory test methods recognized by the International Maritime Organization. As a result of this process, it is expected that during maritime transport the cargo will not liquefy, which could cause the ship to sink. It was concluded that it is necessary to understand and follow the regulatory aspects determined by the IMO that establishes in its International Maritime Solid Bulk Cargo Code the International Maritime Solid Bulk Cargoes Code (IMSBC Code) as conditions for carrying out such transport.

Keywords: humidity; bauxite; IMO; maritime transport.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Países com maiores depósitos de bauxita no mundo.....	16
FIGURA 2 - Minério de bauxita	17
FIGURA 3 - Mineração da bauxita	18
FIGURA 4 - Regras para embarque de bauxita grupo A.....	19
FIGURA 5 - Certificações. A) Certificado do limite de umidade para transporte	20
FIGURA 6 - Certificações. B) Certificado de conteúdo de umidade	20
FIGURA 7 - Visão geral dos testes de TML aplicados a cargas do grupo A	22
FIGURA 8 - Navio Graneleiro. A) Navio chegando para carregar minério B) Navio carregado deixando porto	25
FIGURA 9 - Processo de logística portuária.....	26
FIGURA 10 - Atracação do navio no porto. A) Navio fazendo giro B) Porto onde o navio vai atracar	27
FIGURA 11 - Atracação do navio no porto. A) Navio atracado B) Leitura do calado de boreste (lado direito) da proa (frente) do navio	27
FIGURA 12 - Atracação do navio no porto. A) Navio atracado B) Leitura do calado de boreste (lado direito) da proa (frente) do navio	28
FIGURA 13 - Fluxograma do carregamento do material nos porões do navio	29
FIGURA 14 - Pátio de minério de bauxita do porto. 1) Pilhas A, B, C e D 2) Capacidade de cada pilha entre 55 e 59 toneladas	30
FIGURA 15 - Retomadora operando. A) Retomadora se movimentando entra as pilhas. B) Material sendo retirado do topo da pilha	31
FIGURA 16 - Correias Transportadoras. A) Correia saindo das pilhas. B) Correia chegando à casa de transferência CAT001	31
FIGURA 17 - Casa de transferência CAT001. A) Material seguindo dois fluxos. B) Torre de amostragem recebendo material da CAT001	32
FIGURA 18 - Coleta de amostras na TP 003. A) Local de coleta B) Colaborador retirando material coletado	33
FIGURA 19 - Processo de homogeneização. A) Colaborador realizando tombos	34
FIGURA 20 - Método quarteamento. A) Colaboradores realizando quarteamento ...	34
FIGURA 21 - Secagem de amostras. A) Colaborador fazendo as anotações em planilha B) Chapa aquecedora com amostras dispostas	35

FIGURA 22 - Torre de transferência TP002 e CAT002. A) Material passando pela TP002. B) Material chegando na CAT002. C) Material seguindo na correia. D) Material chegando ao carregador de navio	36
FIGURA 23 - Carregador de navio. A) Parte lateral do carregador B) Porão sendo carregado	37
FIGURA 24 - Porões do navio. A) Porão sendo carregado B) Carregador de navio dispondo material C) Tampas dos porões fechadas D) Tampas abertas para carregamento	38
FIGURA 25 - Modelo de navio graneleiro de bauxita	39
FIGURA 26 - Modelo de um plano de carga de navio graneleiro	40
FIGURA 27 - Carga no porão. A) Carga em deslocamento B) Carga estável.....	41
FIGURA 28 - Navio graneleiro Júpiter	42
FIGURA 29 - Bauxita descarregada no píer do porto de Kuantan	43
FIGURA 30 - Porão do navio graneleiro Orchid Island.....	44
FIGURA 31 - Navios naufragados devido a liquefação. A) Navio de Hong Kong B) Trans Summer.....	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Tabela apresentada com as causas de naufrágio de navios de 2009 a 2018.....	45
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IMO	Organização Marítima Internacional
IMSBC	Código Marítimo Internacional de Cargas Sólidas a Granel
TML	Limite de Umidade Transportável
TP	Correia Transportadora
CAT	Casa de Transferência
AM	Amostrador
GBWG	Global Bauxite Grupo de Trabalho
NORMAN	Normas da Autoridade Marítima
ASI	Aluminium Stewardship Initiative

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	REFERENCIAIS TEÓRICOS	16
2.1	Exploração de Bauxita no Brasil	16
2.2	O minério de Bauxita	16
2.3	Transporte Marítimo do Minério de Bauxita	18
2.4	Umidade e seus Aspectos Regulatórios para Transporte do Minério de Bauxita via marítimo	21
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	Do processo de preparo do navio que irá transportar a bauxita..	25
4.2	Do processo de embarque do Minério de Bauxita	29
4.2.1	Descrição do processo no pátio de minério.....	29
4.2.2	Descrição do processo na retomadora.....	30
4.2.3	Descrição do processo das correias transportadoras.....	31
4.2.4	Descrição do processo da casa de transferência CAT001.....	32
4.2.5	Descrição do processo na torre de Amostragem TP 003.....	33
4.2.6	Descrição do processo da correia transportadora TP 002 e casa de transferência CAT002.....	35
4.2.7	Descrição do processo do carregador de navios.....	36
4.2.8	Descrição do processo de carregamento do porão do navio.....	37
4.3	Importância do menor grau de umidade do minério de bauxita para estabilidade do navio	38
4.4	Impacto da alta umidade do minério de bauxita durante navegação	42
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial total de bauxita em 2018 foi de quase 300 milhões de toneladas, das quais cerca de 100 milhões de toneladas foram transportadas por navios (GBWG, 2017). Diante do cenário crescente do transporte marítimo de cargas, e tendo em vista sua importância para este tipo de comercialização entre países, a International Maritime Organization (IMO) estabeleceu um Código Marítimo Internacional de Cargas Sólidas a Granel o International Maritime Solid Bulk Cargoes Code (IMSBC Code) (IMO, 2011). Ele especifica como as cargas devem ser tratadas no seu acondicionamento e transporte visto que tais cargas a granel sólidas suficientemente finas e úmidas podem deslocar-se nos porões de carga quando o navio está em movimento durante viagens oceânicas, causando deslocamento do centro de gravidade do navio e diminuindo sua estabilidade.

Devido a um evento ocorrido em 2015 relacionado à carga de bauxita, onde o graneleiro Júpiter que carregava 19 tripulantes e 46.000 toneladas de bauxita da Malásia para a China vir a naufragar na costa do Vietnã, tirando a vida de 18 tripulantes (BMTA, 2015), houve mudança no que diz respeito ao grupo de cargas, onde a bauxita que era considerada carga do grupo C passou a ser tratada como carga do grupo A devido ao risco de sofrer liquefação. Sendo assim as cargas de bauxita a partir da nova regra deve seguir o que determina a IMSBC Code o qual estabelece que as cargas desse grupo só podem ser embarcadas se o teor de umidade da carga for menor do que seu limite de umidade transportável (TML) - parâmetro regulatório determinado através de métodos de testes laboratoriais reconhecidos pela IMO (IMO, 2017).

Considerando esses pressupostos, a presente pesquisa pretendeu descrever o impacto causado pela umidade durante o transporte marítimo quando tais controles não são seguidos pelos responsáveis da operação, tendo em vista a crescente necessidade do mercado minerário de manter a umidade do minério menor do que seu limite de umidade transportável (TML) de acordo com a IMSBC Code, para que assim sejam evitados acidentes que podem ocorrer devido à liquefação da carga no processo de transporte marítimo (PEREIRA, 2005).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Descrever o impacto da umidade do minério de bauxita durante o transporte marítimo a fim de determinar sua importância para um transporte seguro e eficaz.

1.1.2 Objetivos específicos

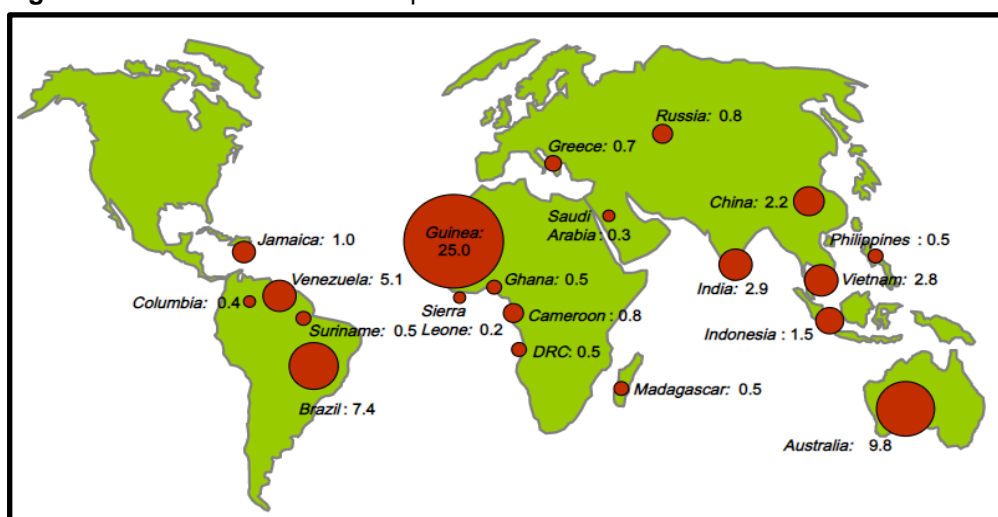
- Verificar o limite de umidade transportável determinado por órgãos responsáveis;
- Descrever o passo a passo do processo de embarque de minério de bauxita em navio;
- Demonstrar a importância do menor grau de umidade durante a navegação e transporte marítimo;
- Explicar o impacto da umidade do minério de bauxita durante a navegação.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

2.1 Exploração de bauxita no Brasil

As maiores reservas de bauxita no mundo (Figura 1) estão localizadas em regiões tropicais e subtropicais. De acordo com informações do International Aluminium Institute (IAI), a bauxita pode ser encontrada em três tipos de clima: Tropical com 57%, mediterrâneo com 33% e subtropical com 10% (QUARESMA, 2009).

Figura 1 - Países com maiores depósitos de bauxita no mundo



Fonte: Ibram - Belo Horizonte/MG (2007).

Com aproximadamente 3,52 bilhões de toneladas o Brasil é o terceiro em reservas de bauxita no mundo. São bauxitas do tipo trihidratado e, em sua maioria apresentam características de grau metalúrgico de 83,7%, que são utilizadas na produção de alumínio primário, e 16,3% de grau não metalúrgico. Além disso suas características químicas se enquadram nos padrões que o mercado mundial deseja.

Dos estados brasileiros cinco são detentores de reserva de bauxita em grau metalúrgico dos quais temos: São Paulo, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais e Maranhão. Sendo o estado do Pará o maior detentor onde encontram-se 90,8% dessas reservas (QUARESMA, 2009).

2.2 O minério de Bauxita

A bauxita (figura 2), que foi descoberta na França no ano de 1821 por Berthier, é composta por uma mistura impura de alguns minerais de alumínio, os

mais importantes são gibbsita $\text{Al}(\text{OH})_3$, diásporo $\text{AlO}(\text{OH})$ e boehmita $\text{AlO}(\text{OH})$. Conhecidos como oxi-hidróxidos de alumínio e suas proporções variam de acordo com os depósitos, tipo e quantidade de impurezas presentes no minério (ANJOS e SILVA, 1983).

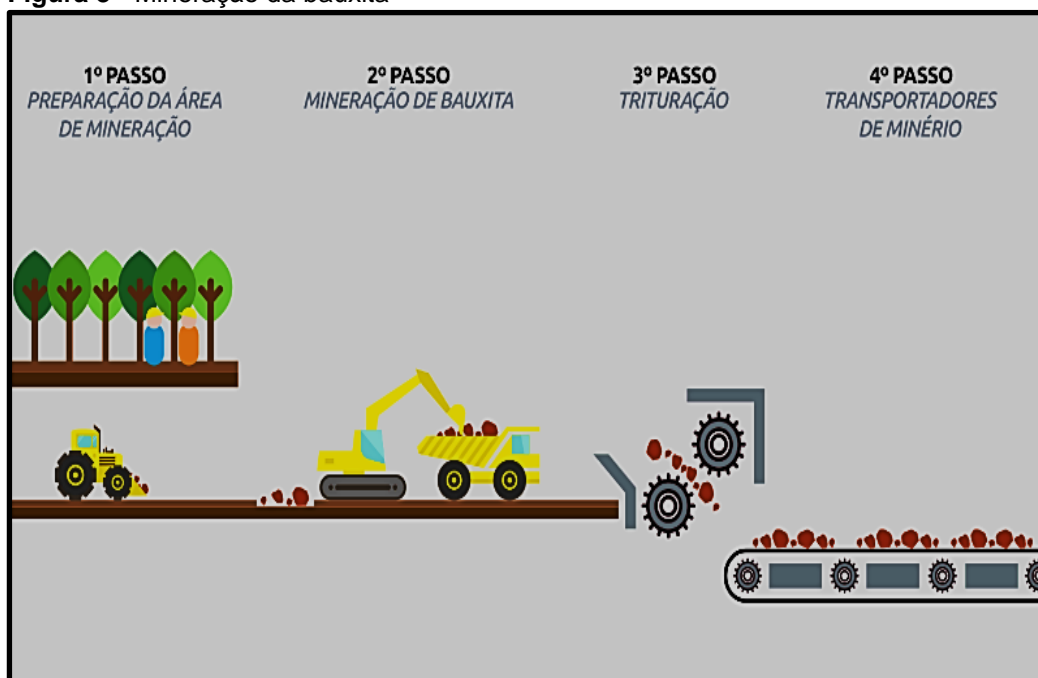
Figura 2 - Minério de bauxita



Fonte: Registro do Autor (2022).

As que são economicamente viáveis possuem alumina (Al_2O_3) entre 50% e 55% e o teor mínimo para que ela seja aproveitável é da ordem de 30% (ANJOS e SILVA, 1983). A bauxita é a fonte natural para se produzir o alumínio e em termos de abundância é o terceiro na crosta terrestre (SAMPAIO *et al.*, 2005).

A primeira etapa para se minerar a bauxita (figura 3) é remover a vegetação e solo orgânico que serão acondicionados para um futuro trabalho de recuperação do solo. A bauxita se encontra próximo à superfície, o que varia conforme sua formação geológica e a espessura ocorrem em sua grande parte em faixas de 3 a 6 metros, o que possibilita a extração a céu aberto com uso de retroscavadeiras. Após sua extração a bauxita é britada e transportada para as pilhas pulmão que é uma pilha reserva dentro da planta, a mesma é muito importante, pois em casos de parada para manutenções o processo não sofre interrupções, ou seja, a logística e clientes não são afetados.

Figura 3 - Mineração da bauxita

Fonte: Brasil Alumínio (2016).

Na sequência a mesma segue, através do carregamento dos vagões de trem ou transporte de esteiras, ou seja, para os pátios dos portos particulares de suas empresas e dali serão embarcadas em navios de grande porte que seguirão seu destino podendo ser nacional ou internacional.

2.3 Transporte marítimo do minério de bauxita

O transporte marítimo, que possui vital importância para o setor comercial, é atualmente o responsável por trocas de comércio internacional no Brasil, sendo que cerca de 75% destas trocas comerciais são transportadas pelo mar. De acordo com a rota dos navios o transporte poder ser chamado de cabotagem, que seria um transporte doméstico, ou seja, realizado dentro do território nacional ou internacional, que são aqueles que percorrem longas distâncias, entre portos nacionais ou internacionais (ALVES e HILÁRIO, 2018).

O transporte marítimo de cargas a granel é regulamentado internacionalmente pela Organização Marítima Internacional (International Maritime Organization – IMO) da qual o Brasil é membro. De acordo com a IMO (2011), para realizar tais transportes os países membros devem seguir o código estabelecido para que suas operações sejam realizadas com segurança. As cargas ainda são de acordo com suas características classificadas por grupo de cargas onde se

estabelece seus riscos: Grupo A – cargas que apresentam risco de liquefação; Grupo B – cargas que apresentam risco químico; Grupo C – cargas que não apresentam riscos.

O transporte de minério da bauxita é realizado por meio marítimo através de navios graneleiros. A facilidade desse transporte tem relação com as milhares de toneladas de carga que é possível transportar entre um país a outro com custeio de frete baixo além da eficiência e agilidade que este meio proporciona. Diante de um cenário tão robusto é de se esperar que problemas operacionais, incidentes ou grandes acidentes possam ocorrer e que deve haver medidas preventivas para se evitar prejuízos financeiros, estruturais, e sobretudo a perda de vidas.

Após o naufrágio de um graneleiro no ano de 2015 que transportava bauxita, iniciou-se um estudo realizado pela indústria Global Bauxite Grupo de Trabalho (GBWG) sobre o comportamento da bauxita, que até então era relacionada a cargas do grupo C, ou seja, não possuía risco em seu transporte, e constatou-se que a bauxita apresenta um risco de liquefação causado pela umidade (GBWG, 2017).

Assim, tais cargas de bauxita passaram a ser tratadas como Cargas do Grupo A (IMO 2017). E, portanto, devem obedecer às regras quanto a transporte estabelecidas pela IMSBC CODE (International Maritime Solid Bulk Cargoes Code) (Figura 4).

Figura 4 - Regras para embarque de bauxita grupo A

CCC.1/Circ.2/Rev.1 Annex 2, page 1		
ANNEX 2		
DRAFT INDIVIDUAL SCHEDULE FOR BAUXITE OF GROUP A		
BAUXITE FINES		
The provisions of this schedule shall apply to Bauxite cargoes containing both:		
.1	more than 30% of fine particles less than 1 mm ($D_{30} < 1$ mm); and	
.2	more than 40% of particles less than 2.5 mm ($D_{40} < 2.5$ mm).	
Notwithstanding the above provision, Bauxite cargo meeting the above criterion may be carried as a Group C cargo in accordance with the provisions of the individual schedule for BAUXITE where the shipper provides the master with a certificate, in accordance with the result of the test approved by the competent authority of port of loading, stating that the moisture of the cargo freely drains from the cargo so that the degree of saturation is not liable to reach 70%.		
Description		
A reddish-brown to brownish-yellow clay-like and earthy mineral. Insoluble in water.		
Characteristics		
Angle of repose	Bulk density (kg/m³)	Stowage factor (m³/t)
Not applicable	1,100 to 2,000	0.50 to 0.91
Size	Class	Group
More than 30% of fine particles less than 1 mm and more than 40% of particles less than 2.5 mm	Not applicable	A

Fonte: IMO (2017).

Contudo ainda se faz necessário conhecer e seguir as normas brasileiras presentes na Normam 5 e ABNT's NBR's (16317, 16214, ISO3082 e ISO3087) como também a obtenção do certificado do limite de umidade para transporte - TML (Figura 5) e o certificado de conteúdo de umidade (Figura 6) para realizar tais transportes.

Figura 5 - Certificado do limite de umidade para transporte

CERTIFICADO DO LIMITE DE UMIDADE PARA TRANSPORTE - TML

IDENTIFICAÇÃO DO LABORATÓRIO (Nome, CNPJ, endereço, telefone e sítio da internet, logomarca) Laboratório reconhecido pela Diretoria de Portos e Costas pelo Certificado N°		Certificado N° (Certificate Nr)
		Validade (Expiry date)
EMBARCADOR (Shipper):		
PRODUTO/CARGA (Product/cargo):		
TML do Lote (%):	Data do Ensaio TML (Date of test):	
Método de Ensaio (Test procedure):	Norma de referência (Regulation):	
OBSERVAÇÕES (Remarks)		

Fonte: ABNT - NBR 16317 (2020).

Figura 6 - Certificado de conteúdo de umidade

ABNT NBR 16317:2020

CERTIFICADO DE CONTEÚDO DE UMIDADE

IDENTIFICAÇÃO DO LABORATÓRIO (Nome, CNPJ, endereço, telefone e sítio da internet, logomarca) Laboratório reconhecido pela Diretoria de Portos e Costas pelo Certificado N°		Certificado N° (Certificate Nr)
		Validade (Expiry date)
EMBARCADOR (Shipper):		
PRODUTO/CARGA (Product/cargo):		
TESTE (Test):		
EMBARCAÇÃO (Vessel):		
TML do Lote (%):	Data do Ensaio do TML (Date of test):	
Conteúdo de Umidade (Moisture content) (%):	Data/hora do término do carregamento (Date of):	
Norma de referência (Regulation):		

Fonte: ABNT - NBR 16317 (2020).


2.4 Umidades e seus aspectos regulatórios para transporte do minério de bauxita via marítimo.

A umidade é a água presente no minério adquirido pela adesão da água da chuva, intemperismo ou dentro do processo minerário. Essa umidade deve ser controlada nos processos seguintes a fim de atender a solicitação do comprador além de promover um processo seguro, eficaz e de qualidade desde sua extração até seu transporte final.

O transporte da bauxita para a comercialização se dá essencialmente através de vias marítimas devido a sua agilidade e quantidade transportável como citado anteriormente.

Para evitar o risco de instabilidade da carga devido à umidade, a IMO estabelece que cargas que possam sofrer liquefação só podem ser embarcadas se o teor de umidade da carga for menor que seu limite de umidade transportável (TML), a determinação desse teor de umidade, ou seja, o percentual que pode ser transportado é estabelecido a cada seis meses via documento devidamente assinado pelos engenheiros químicos da mineradora, para tanto são feitos testes laboratoriais com amostras de bauxita como prescritos pela IMO (Figura 7) onde será estabelecido através destes o valor percentual para umidade transportável, isso ocorre porque as frentes de lavra mudam conforme a extração avança fazendo com que os dados do minério de bauxita sofram alteração, o que impacta no controle de umidade. No caso da mineradora presente na cidade de Juruti- PA este valor varia entre 13,5% á 16,5% de umidade de carga embarcada, estando dentro dos parâmetros exigidos para embarque e transporte marítimo. Este é um parâmetro regulatório determinado através de métodos de teste laboratorial, ou seja, o teste de penetração, o teste de tabela de fluxo, o teste Proctor / Fagerberg, o teste Proctor/Fagerberg modificado para minério de ferro, o teste Proctor/Fagerberg modificado para carvão e o Proctor/Fagerberg modificado para bauxita, credenciado pela IMO desde 2017 (IMO 2017).

Figura 7 - Visão geral dos testes de TML aplicados a cargas do grupo A



Teste	Proctor/Fagerberg	Proctor/Fagerberg Modificado	Flow Table	Penetration
Origem	Desenvolvido na Suécia em 1963 [6, 7]. Adotado pela IMO para o antigo BC Code em 1992.	Desenvolvido pela Grupo Técnico de Trabalho formado pela IMO em 2013 [15-18]. Será incluído no IMSBC Code em 2017.	Originalmente desenvolvido para indústria cimenteira [10, 11]. Adaptado no Canadá para determinação de TML e inclusão na primeira versão do antigo BC Code em 1965.	Desenvolvido no Japão para determinar TML de carvão [12]. Adotado pela IMO para o antigo BC Code em 1992.
Aplicabilidade	Minérios e concentrados não porosos com limite de tamanho em 5 mm.	Finos de minério de ferro com percentual de goethita <30% e OMC > 90%.	Minérios e concentrados com limite de tamanho em 7 mm.	Minérios e concentrados com limite de tamanho em 25 mm.
Aparato	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindro de compactação com 1000 cm³; - Soquete com 350 g, 5 cm de diâmetro e 20 cm de altura de queda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindro de compactação com 1000 cm³; - Soquete com 150 g, 5 cm de diâmetro e 15 cm de altura de queda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesa com 25,4 cm diam. e 1,25 cm de altura de queda; - Molde tronco-cônico com 296,6 cm³; - Soquete de mola com 3 cm de diâmetro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesa vibratória de 2 g rms; - Moldes cilíndricos com 1700 cm³ ou 4700 cm³; - Bits de penetração; - Soquete de mola com 3 cm de diâmetro.
Resumo do Procedimento	A partir de testes de compactação, identifica-se a relação entre índice de vazios e umidade. São realizados 5 a 10 testes de compactação com diferentes umidades, sendo o cilindro preenchido com 5 camadas de amostra, cada camada recebe 25 quedas do soquete.	A partir de testes de compactação, identifica-se a relação entre índice de vazios e umidade. São realizados 5 a 10 testes de compactação com diferentes umidades, sendo o cilindro preenchido com 5 camadas de amostra, cada camada recebe 25 quedas do soquete.	São realizados testes com diferentes umidades até que seja detectada visualmente uma deformação plástica no corpo de prova. O molde é preenchido com 3 camadas de amostra, sendo que a primeira camada recebe 35 compressões, a segunda 25 e a terceira 20. A pressão aplicada é calculada.	São realizados testes com diferentes umidades até que pelo menos um dos bits penetre 5 cm ou mais na amostra. O molde é preenchido com 3 camadas de amostra, sendo efetuada compactação até se obter uma superfície plana no corpo de prova.
Definição do TML	Umidade correspondente a 70% de saturação.	Umidade correspondente a 80% de saturação.	Umidade correspondente a 90% do flow moisture point.	Umidade correspondente a 90% do flow moisture point.
Definição do Flow Moisture Point (FMP)	Não se aplica.	Não se aplica.	Umidade na qual se observa deformação plástica na amostra após as quedas.	Umidade na qual se observa penetração de 5 cm ou mais no bit.
Tempo para Determinação do TML	1 a 2 dias	1 a 2 dias	1 a 2 dias	2 dias

Fonte: Ferreira *et al.* (2017)

O TML representa o teor máximo de umidade de uma carga do Grupo A para transporte seguro e sua determinação precisa é fundamental para garantir a segurança e a conformidade do transporte, pois imprecisões nas determinações de umidade e TML podem representar um risco para marítimos e navios.

Tendo em vista tal código, o Brasil através da Capitania dos portos e costas estabelece na Normam cinco capítulo seis as diretrizes para realizar teste de conteúdo de umidade e de TML de cargas sólidas sujeitas à liquefação ou outros tipos de estabilidades. E ainda é a responsável pela aprovação de procedimentos de embarque de cargas sólidas sujeitas à liquefação ou outros tipos de instabilidade, sendo a ABNT NBR ISO3087 responsável por certificar se a empresa está apta para

atuação, e a ABNT NBR 16214 responsável por controlar o processo de testes, laboratórios, etc. (NORMAM 5/DPC, 2017).

Para se realizar o transporte da bauxita por via marítima se faz necessário então realizar os testes de umidade a fim de obter o certificado de análise, que se trata do certificado emitido ao final de cada carregamento, onde encontram-se as informações dos valores da produção, volume, teores do minério e a porcentagem de umidade do carregamento. A emissão do certificado é feita pela gerência de produção, cujo documento deve ser assinado pelo engenheiro químico responsável pelo turno. Esse certificado é reconhecido e possui o selo da ASI - Aluminium Stewardship Initiative (Iniciativa de Gerenciamento de Alumínio).

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de campo exploratório-descritiva, afim de trazer a familiaridade do assunto para a comunidade acadêmica, visando assim que pessoas que não têm contato ou conhecimento quanto a este tipo de operação possa conhecê-lo.

O objetivo de uma pesquisa descritiva é levantar características específicas seja de população, fenômenos, processos ou estabelecer relações entre variáveis (GIL, 2017).

Ainda segundo Gil (2017), as pesquisas exploratórias possuem flexibilidade em seu planejamento, visto que elas procuram observar e compreender os mais variados aspectos do que está sendo estudado pelo pesquisador.

A abordagem de tais dados se dará através de uma análise qualitativa, seguindo as seguintes etapas:

Etapa 1: Foi realizada uma pesquisa bibliográfica dos aspectos regulatórios referente ao limite de umidade para embarque marítimo, visando conhecer as regras e normas já adotadas pelos órgãos competentes.

Etapa 2: Registro fotográfico do processo de embarque do minério de bauxita desde a pilha de concentração do pátio do porto até os porões do navio. Neste ponto, o intuito do registro fotográfico foi descrever o processo de controle da umidade.

Etapa 3: Descrição do transporte marítimo da bauxita e os impactos que a umidade pode causar durante a navegação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor descrever o processo de embarque de bauxita, precisamos compreender o processo de logística portuária que antecede a atracação do navio no porto, seguindo assim, uma cadeia de programação para que ele seja autorizado a atracar, carregar e posteriormente sair com a respectiva carga para o seu destino.

Inicialmente faz-se o planejamento e programação do porto que deve seguir duas etapas, sendo: preparo do navio e preparo da carga.

4.1 Do processo de preparo do navio que irá transportar a bauxita

Todo processo da etapa para o preparo do navio se dá pela necessidade inicial de um cliente para retirar uma determinada carga, tendo datas e prazos já definidos para esta ação, ou seja, ele precisa cumprir com a programação e com as condições já determinadas pelo setor de embarque do porto que irá fornecer a carga.

De posse desta programação o afretador, que nada mais é a empresa, grupo ou pessoa que irá comprar tal carga, entra em contato com o armador, profissional responsável por encontrar no mercado empresas fretadoras, que possuam os equipamentos necessários para transportar a carga, no caso da bauxita os navios graneleiros (Figura 8, Imagem A e B). Os navios graneleiros são os utilizados para levar a carga a granel em seus porões, conforme a necessidade e especificações dos clientes, como por exemplo, a quantidade da carga, restrições do terminal, tempo de curso etc.

Figura 8 - Navio Graneleiro. A) Navio chegando para carregar minério B) Navio carregado deixando porto



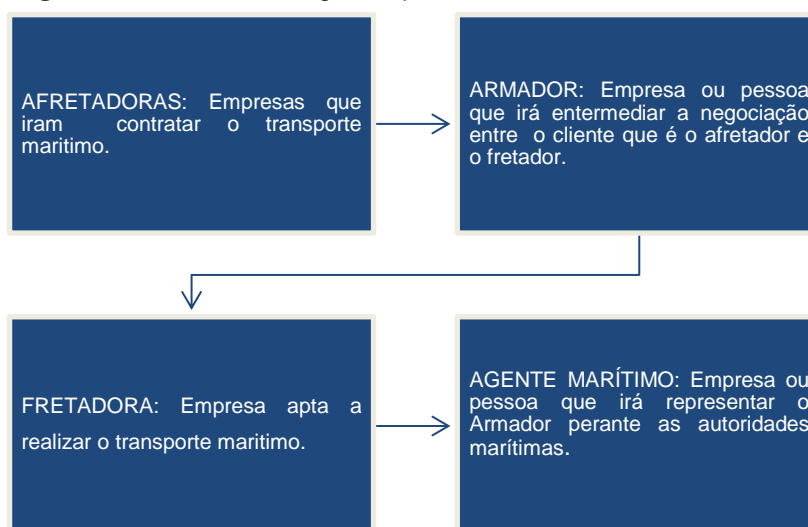
Fonte: Registro do Autor (2022).

Finalizada a etapa de negociação com a empresa fretadora, o armador deve contratar para lhe representar durante o traslado, atracação, carregamento e transporte ao seu destino, um grupo ou pessoa para realizar o agenciamento marítimo. A representação do armador (agente marítimo) perante as autoridades portuárias, durante todo processo de atendimento, irá se encerrar quando o navio chegar ao destino da entrega da carga.

Dada a contratação do agente marítimo, ele irá providenciar as documentações necessárias para devida apresentação frente as autoridades portuárias, além de programar a chegada e atracação do navio com o porto em questão, mantendo constante contato com o comandante do navio a partir da chegada dele na zona de fundeio (local onde o navio passa pelas devidas inspeções e é liberado para seguir viagem).

Logo, para chegar a este ponto é necessário cumprir todo processo de negociação conforme apresentado na figura 9.

Figura 9 - Processo de logística portuária



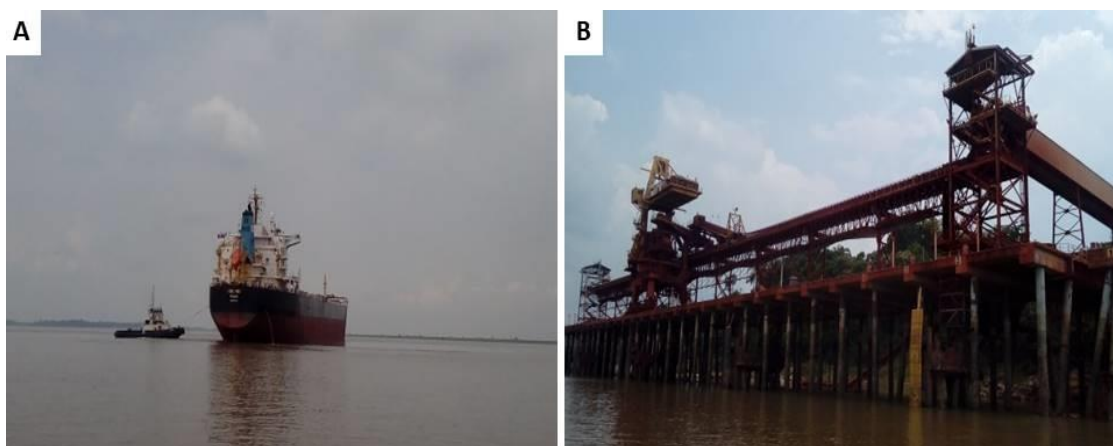
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Após todas as liberações o navio recebe a bordo, ainda na zona de fundeio, o práctico, a pessoa responsável e habilitada pela Capitania dos Portos de atracar o navio, conforme determinação prévia do armador. A responsabilidade por conduzir o navio sai do comandante na zona de fundeio e passa a ser cumprida pelo práctico, isso se dá devido ele conhecer as condições da região, como: ventos, ondas e outros

fenômenos, e devido a isso, cada porto possui seu conjunto de práticos (SILVA; SILVA, 2012).

Durante a manobra de atracação do navio (Figura 10, imagem A), dois práticos irão realizar a manobra com o apoio de rebocadores e lanchas que serão acionadas durante todo o procedimento para que o navio seja atracado no porto (Figura 10, imagem B), da forma mais segura possível.

Figura 10 - Atracação do navio no porto. A) Navio fazendo giro B) Porto onde o navio vai atracar



Fonte: Registro do Autor (2022).

Após o navio estar atracado no porto (Figura 11, imagem A), realiza-se a leitura de calado (Figura 11, imagem B), conhecida como arqueação inicial, que atesta o Peso Leve do Navio (Light Ship), onde sempre participam o representante do porto e o imediato do navio para atestar a veracidade das informações.

Figura 11 - Atracação do navio no porto. A) Navio atracado B) Leitura do calado de boreste (lado direito) da proa (frente) do navio



Fonte: Registro do Autor (2022).

Após esta leitura é lançada a barreira de contenção (Figura 12, imagem A) responsável por conter qualquer tipo de poluente que possa vazar durante as operações, visando assim a proteção do meio ambiente. Finalizado este processo o agente marítimo e o representante do porto embarcam logo após (Figura 12, Imagem B) para atender as necessidades do comandante.

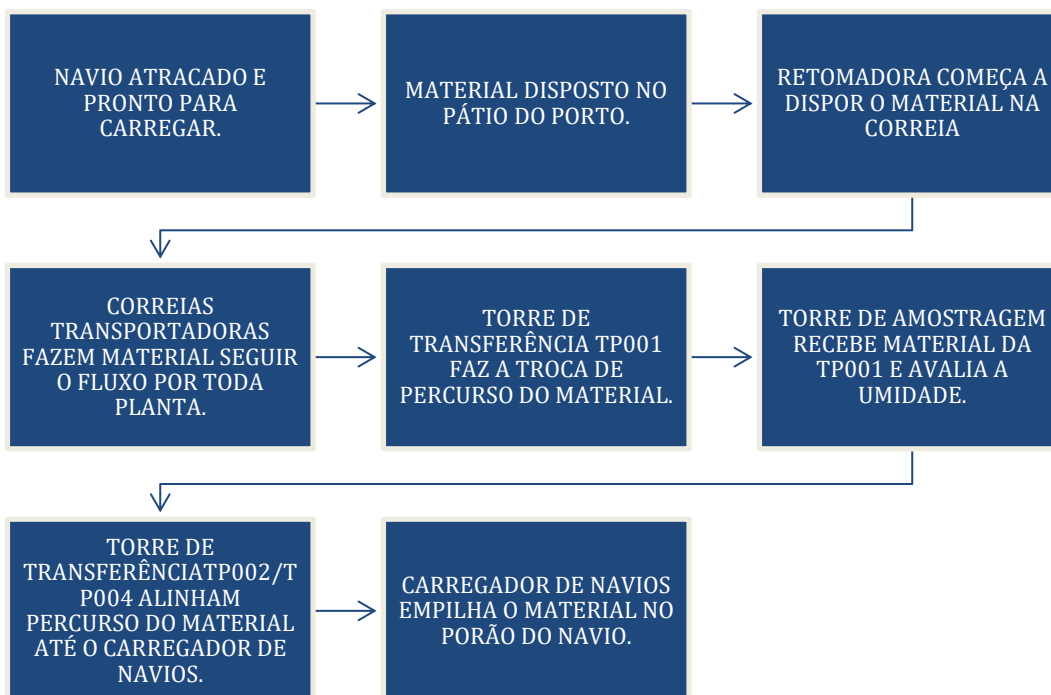
Figura 12 - Atracação do navio no porto. A) lançamento de barreira de contenção. B) agente marítimo subindo a bordo do navio.



Fonte: Registro do Autor (2022).

Realizadas as devidas liberações após a subida do agente marítimo e representante do porto a bordo, responsabilidade das operações retorna ao comandante que irá acompanhar o processo de carregamento do material, conforme o fluxograma do carregamento do material (Figura 13), que será embarcado nos porões do navio.

Figura 13 - Fluxograma do carregamento do material nos porões do navio



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

4.2 Do processo de embarque do minério de bauxita

4.2.1 Descrição do processo no pátio de minério

O preparo da carga que será embarcada no navio tem início nas pilhas dispostas no pátio de minério. Este local é onde a carga ficará até seguir para o embarque no navio. Este pátio (Figura 14, Imagem 1 e 2) conta com um total de quatro pilhas divididas de A à D. Cada pilha pode conter de 55 a 59 toneladas de minério.

Figura 14 - Pátio de minério de bauxita do porto. 1) Pilhas A, B, C e D. 2) Capacidade de cada pilha entre 55 e 59 toneladas



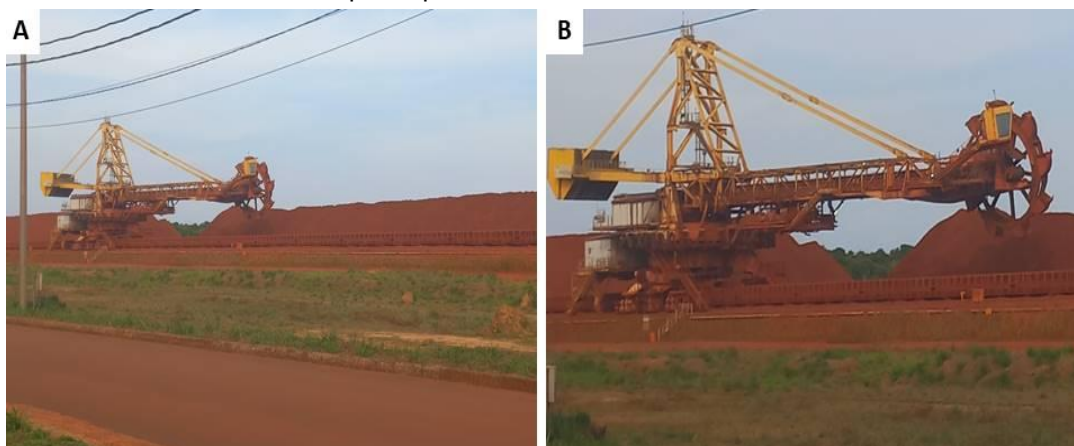
Fonte: Registro do Autor (2022).

Cada pátio de porto detém uma capacidade específica de toneladas de acordo com as suas operações. Geralmente tais pátios ficam em área aberta, o que significa que se devem monitorar os índices pluviométricos para que sejam estabelecidos critérios e procedimentos a fim de parar o embarque sempre que a umidade do minério a ser embarcado, chegar próximo ou superar o valor de TML utilizado para o minério (ABNT16317, 2020).

4.2.2 Descrição do processo na retomadora

Estando as pilhas devidamente formadas no pátio de minério a retomadora entra para realizar o processo de embarque do minério (Figura 15, imagem A e B) se movimentando no pátio a partir de trilhos, seguindo um processo de retirada por bancadas, sendo a 1º o topo da pilha, a 2º o meio da pilha, e a 3º a parte baixa da pilha.

Figura 15 - Retomadora operando. A) Retomadora se movimentando entra as pilhas. B) Material sendo retirado do topo da pilha



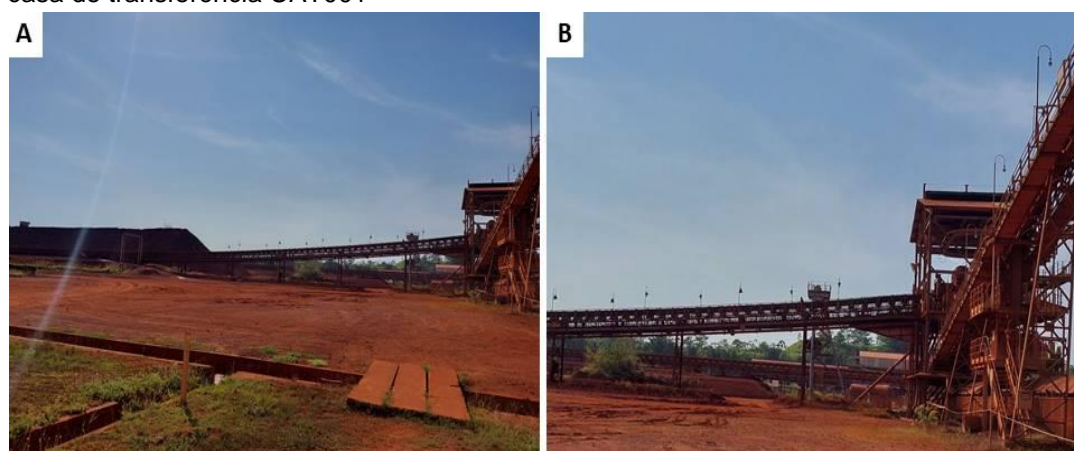
Fonte: Registro do Autor (2022).

Sua maneira de operar se dá através de um sistema de roda caçambas que irão escavar as pilhas que estão dispostas no pátio e depositar o minério nas correias transportadoras que serão responsáveis por fazer o minério chegar até o navio.

4.2.3 Descrição do processo das correias transportadoras

Após o material ser depositado pela retomadora nas correias transportadoras TP001 elas irão percorrer toda a planta passando pelas casas de transferências (Figura 16, imagem A e B) até chegar ao carregador de navios.

Figura 16 - Correias Transportadoras. A) Correia saindo das pilhas. B) Correia chegando à casa de transferência CAT001



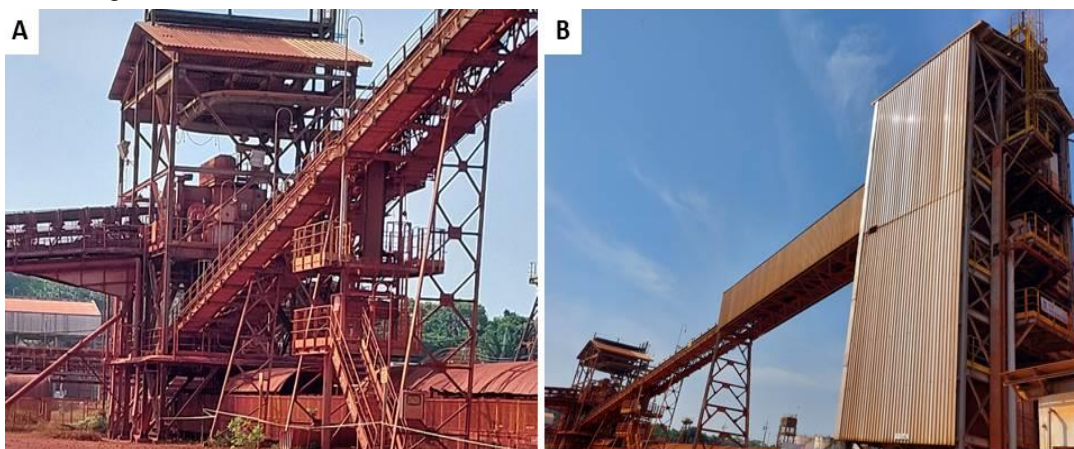
Fonte: Registro do Autor (2022).

A utilização das correias transportadoras se dá por questões de facilidade, baixo custo e rapidez para realizar o embarque do minério. Elas necessitam apenas das casas de transferência para realinhar o fluxo para que o material percorra toda a área até chegar ao carregador de navio.

4.2.4 Descrição do processo da casa de transferência CAT001.

Assim que o material chega na CAT001 através da correia transportadora, TP001, ela irá realizar a troca de percurso da correia, destinando o material em dois fluxos (Figura 17, imagem A e B). Assim uma parte do material segue para a torre de amostragem TP003, e a outra segue o fluxo para o carregamento do navio passando pela TP002.

Figura 17 - Casa de transferência CAT001. A) Material seguindo dois fluxos. B) Torre de amostragem recebendo material da CAT001



Fonte: Registro do Autor (2022).

A CAT001 é necessária devido o processo não seguir um fluxo físico direto havendo curvas na área de transporte sendo função da torre redirecionar as correias para que a bauxita siga o curso até chegar ao carregador de navios.

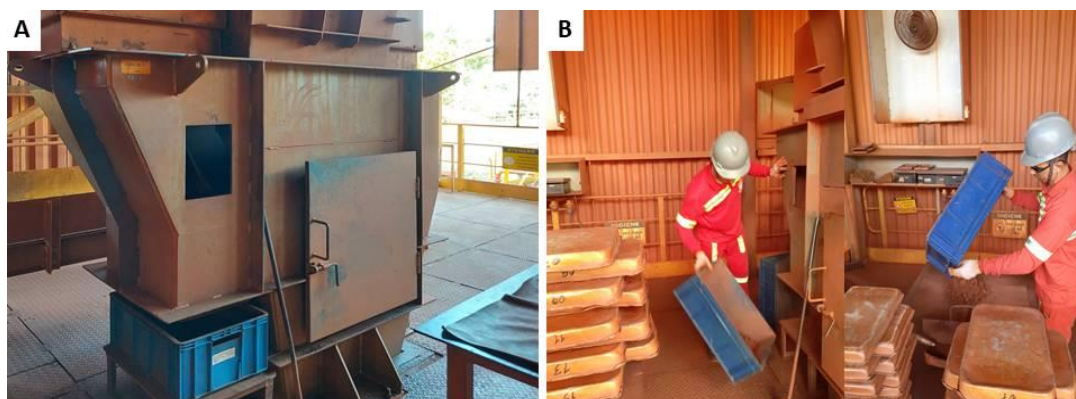
4.2.5 Descrição do processo na torre de amostragem TP003

Ao receber o fluxo da CAT001 a torre de amostragem TP003 realiza a análise do minério de bauxita que está sendo embarcado no navio. Alguns dos trabalhos para análise são: granulometria (tamanho adequado do minério), teste rápido na chapa (porcentagem de umidade presente no minério), e oficial (análise detalhada do minério). A ABNT NBR ISO 3082 determina que para que haja uma melhor representatividade da amostra, a mesma deve ser colhida em um ponto de transferência entre correias transportadoras, como vimos acima na CAT001, que possui dois ciclos, um que segue o fluxo de carga para o navio e outro segue para a torre de amostragem TP003. As etapas que se seguem na torre de amostragem TP003 para realizar este controle da umidade são as seguintes:

Coleta: A cada 1.000 toneladas embarcadas o amostrador AM-002 realiza um corte no fluxo do material e despeja em uma bandeja (figura 18, imagem A e B), para análise granulométrica. Enquanto no amostrador AM-003 é realizado dois cortes no fluxo do material, sendo despejado em duas bandejas. Esse material será preparado para análise química e de umidade.

O procedimento de TML é realizado no AM-002, onde serão feitos dois cortes no fluxo do material, da seguinte maneira: a cada 5.000 toneladas embarcadas o material que foi despejado na bandeja é armazenado, identificado, pesado e armazenado em local apropriado para ser enviado ao laboratório para análise.

Figura 18 - Coleta de amostras na TP 003. A) Local de coleta B) Colaborador retirando material coletado



Fonte: Registro do Autor (2022).

Homogeneização: O material coletado é despejado em uma lona onde ele será homogeneizado (figura 19, imagem A) tombando 12 vezes cada canto da lona, para que haja uma maior probabilidade de todas as partes do material serem igualmente amostradas.

Figura 19 - Processo de homogeneização. A) Colaborador realizando tombos



Fonte: Registro do Autor (2022).

Quarteamento: É utilizada uma cruzeta de ferro para realizar o quarteamento do material (figura 20, imagem A). Após o quarteamento, coleta-se dois cantos opostos da amostra, adicionando sobre uma bandeja que será posteriormente pesada e colocada sobre uma chapa aquecedora.

Figura 20 - Método quarteamento. A) Colaboradores realizando quarteamento



Fonte: Registro do Autor (2022).

Secagem: A amostra disposta sobre a chapa aquecedora deverá estar à 175 °C (figura 21, Imagem A e B) pelo período de 1 hora. Após a secagem, pesa-se novamente a amostra fazendo as anotações dos dados em planilha própria.

Figura 21 - Secagem de amostras. A) Colaborador fazendo as anotações em planilha B) Chapa aquecedora com amostras dispostas



Fonte: Registro do Autor (2022).

Após a realização dos trabalhos de análises as amostras seguem para determinação da umidade. E para isso, as amostras devem ser devidamente alocadas em recipiente impermeável e hermeticamente fechado, contendo assim o menor espaço livre para o ar, de maneira a não haver alterações no teor de umidade, sendo destinada em sequência para a análise laboratorial (ABNT, NBR: 3082, 2019).

Este processo visa garantir que o cliente receba exatamente o material nas condições que foram acordadas, e ainda visa principalmente que o embarque do material seja feito de maneira controlada e planejada, a fim de evitar acidentes marítimos possibilitando a navegação segura do navio até o seu destino.

4.2.6 Descrição do processo da correia transportadora TP 002 e casa de transferência CAT002.

Após o material passar pela CAT001 ele segue o fluxo para TP002 (Figura 22, imagem A) sendo direcionado por um novo percurso através de correia transportadora até a próxima casa de transferência, a CAT002 (Figura 22, Imagem

B) onde o material será destinado para o carregador de navios (Figura 22, imagem C e D).

Figura 22 - Torre de transferência TP002 e CAT002. A) Material passando pela TP002. B) Material chegando na CAT002. C) Material seguindo na correia. D) Material chegando ao carregador de navio



Fonte: Registro do Autor (2022).

Todas essas casas de transferências são necessárias, pois o processo não segue um fluxo físico direto, havendo curvas na área de transporte via correias, a função das CATs é redirecionar as correias para que o minério de bauxita siga o curso até chegar ao carregador de navios.

4.2.7 Descrição do processo do carregador de navios

Ao chegar até o carregador de navios, o material advindo das correias transportadoras será empilhado dentro dos porões do navio (Figura 23, imagem A e B). Embora pareça um processo simples, existe uma atenção e cuidado redobrado para empilhar de forma segura e equilibrada o material dentro dos porões, sendo este um dos fatores que permite a liberação para a saída do navio.

Figura 23 - Carregador de navio. A) Parte lateral do carregador B) Porão sendo carregado



Fonte: Registro do Autor (2022).

O carregador de navio fica localizado no porto para facilitar a exportação do material que circula através da correia. A maioria dos projetos de carregadores de navios atendem requisitos específicos de acordo com o material a ser carregado, a capacidade desta carga, e o tipo/modelo de embarcação que irá atracar para receber a carga, além das legislações locais.

O carregador consiste em uma coluna central que possui em sua estrutura um braço/lança extensível, uma correia transportadora, um mecanismo de giro, além de um chute de carregamento que irá transferir o material do alimentador de origem. A lança movimenta-se para cima e para baixo, para frente e para trás, através de comandos separados, preenchendo assim toda a largura do porão do navio sempre se adaptando ao calado crescente dele ao ser carregado.

4.2.8 Descrição do processo de carregamento do porão do navio

Tendo o carregador de navio recebido o material, ele irá descarregá-lo no porão do navio (Figura 24, Imagem A e B), onde a carga ficará armazenada durante toda a navegação.

Devido as cargas do tipo granel serem depositadas diretamente no porão, eles devem possuir tampas, os tipos mais comuns são as rolantes e sanfonas (Figura 24, Imagem C). Elas são necessárias devido à exposição do material as intempéries

do tempo. Sendo assim, inicialmente para carregar cada porão faz-se necessário abrir suas tampas e permitir o livre acesso do carregador de navios (Figura 24, Imagem D) ao mesmo. Durante todo o processo de embarque, caso haja ocorrência de chuvas, os porões são imediatamente fechados e o embarque parado até que o mau tempo passe.

Figura 24 - Porões do navio. A) Porão sendo carregado B) Carregador de navio dispondo material C) Tampas dos porões fechadas D) Tampas abertas para carregamento



Fonte: Registro do Autor (2022).

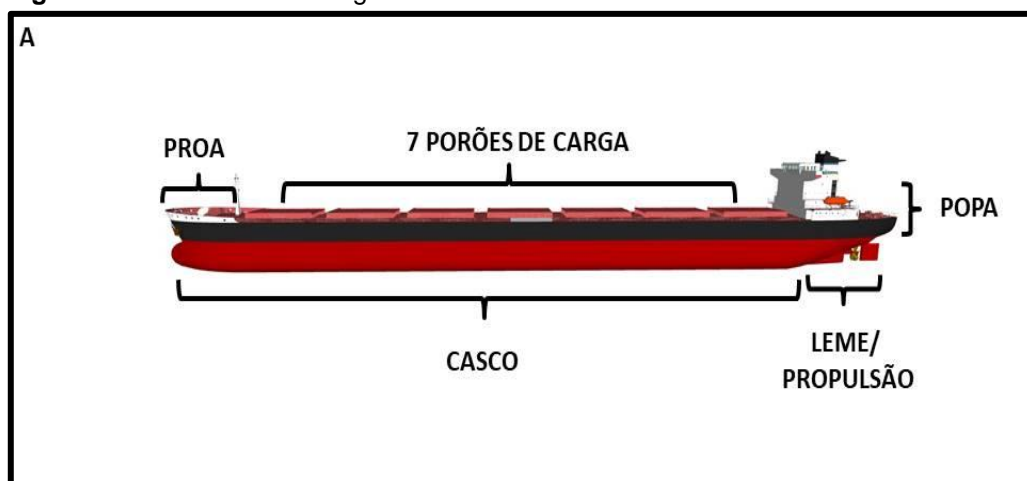
Antes de completar a carga dos porões, é realizado uma trimagem do navio, que consiste na avaliação dos calados (distância entra a quilha do navio e o fundo do rio) a partir da leitura da régua de medição posicionadas na proa, meia nau e popa, cuja informação é de extrema importância para liberar a saída do navio com a carga. Geralmente a leitura é feita pelo representante do porto acompanhado do imediato do navio, na qual ela irá definir se o navio está em condições de fluviabilidade, ou seja, quando os calados de proa e popa estiverem iguais.

4.3 Importância do menor grau de umidade do minério de bauxita para estabilidade do navio

Um navio é considerado estável quando se encontra na posição vertical de maneira aprumada. Segundo a hidrostática, se o peso de um navio for igual ao empuxo, o navio não irá afundar, mas se equilibrará. O navio ao flutuar permanece com uma parte, chamada de casco (Figura 25, imagem A), dentro da água, e o

restante do corpo (convés, obras mortas, chaminé etc.) acima da água. Parece que uma força invisível o segura, essa força invisível que o impede de afundar chama-se flutuabilidade. Para que a mesma ocorra de maneira estável durante a navegação com porões carregados deve-se estar atento ao comportamento da carga durante a navegação.

Figura 25 - Modelo de navio graneleiro de bauxita



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

O carregador de navio ao despejar o material nos porões o faz em formato de pilha cônica para gerar estabilidade ao navio durante a navegação, ou seja, todos os porões são carregados no mesmo formato, porém, a quantidade de carga em cada porão irá variar conforme o plano de carga (Figura 26, imagem A). Isso é feito para que o navio possa sair de maneira estável do porto, o que é assegurado através da trimagem, conforme citado anteriormente, irá verificar se os calados atendem ao esperado, para que o navio possa desatracar e navegar em segurança.

Figura 26 - Modelo de um plano de carga de navio graneleiro

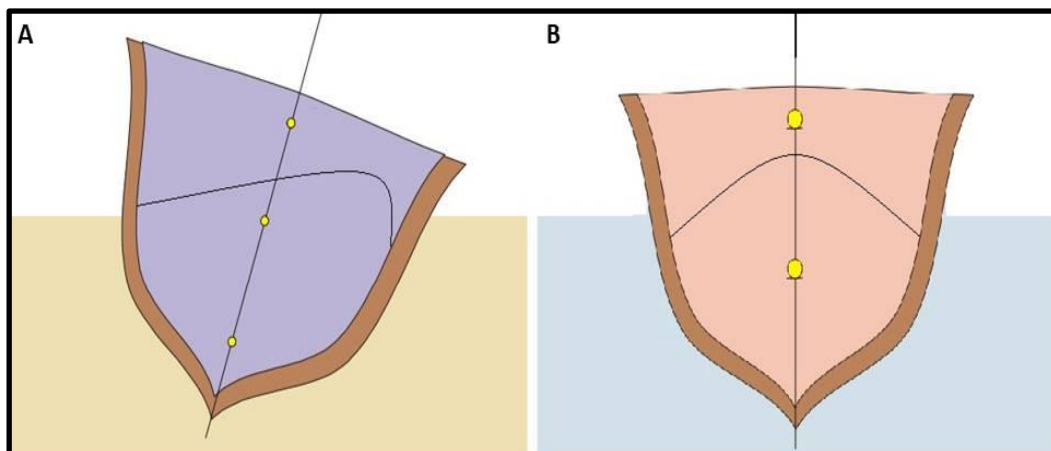


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Tendo o navio desatracado do porto com a carga, e iniciado o transporte por via marítima, é preciso compreender que o minério de bauxita será submetido a movimentos cíclicos induzidos por vários fatores como: ondas, vento, avanço do navio sobre rio/mar impelido pelos motores etc., e logicamente esses movimentos se transferem para a carga que se encontra nos porões. A resposta desta carga a este movimento cíclico é extremamente importante e dependerá unicamente do tipo de material e das condições iniciais de preparo dele antes do embarque, principalmente no que se refere à umidade.

No transcorrer da navegação o comandante é o responsável por estar acompanhando as condições da carga, até chegar ao destino. Este acompanhamento é muito importante para verificar se ela não está se deslocando dentro do porão (Figura 27, imagem A) sob os movimentos cíclicos da embarcação, o que pode afetar a estabilidade da embarcação, fazendo com que ela desenvolva uma inclinação.

Figura 27 - Carga no porão. A) Carga em deslocamento B) Carga estável



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022).

Esse deslocamento da carga pode ocorrer devido a um fenômeno conhecido como liquefação, quando este processo se inicia, o granel começa a se comportar de maneira líquida com isso ocorrerá o efeito da superfície livre. Logo haverá a perda de tensão e uma significativa redução na força de cisalhamento das partículas do granel, ficando a carga suscetível ao deslocamento dentro dos porões. Como resultado, o centro de gravidade do navio pode ser deslocado, afetando sua estabilidade, conseqüentemente aumentando a probabilidade de ele emborcar (ROSE, 2014).

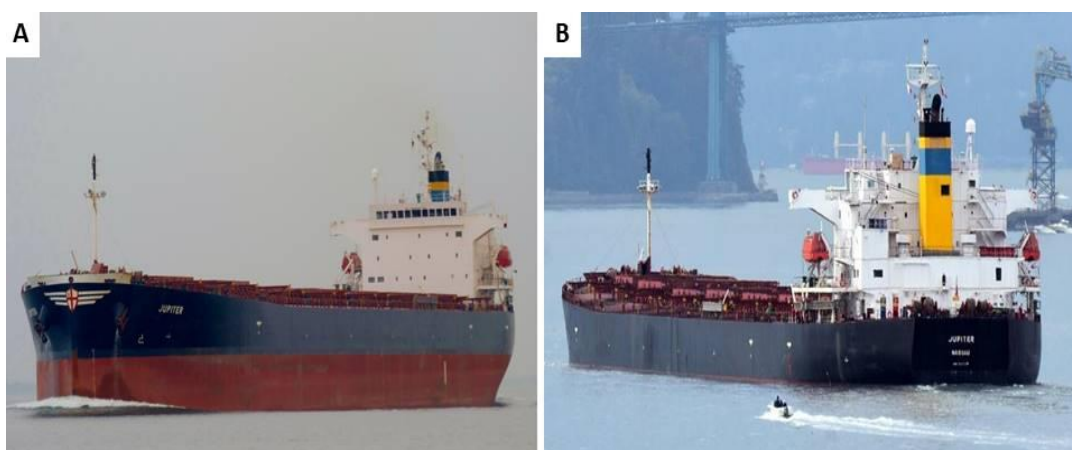
Durante a navegação, a migração da umidade da carga pode também conduzir à formação de uma base úmida nos porões dos navios. Esta base úmida pode ser uma fonte de instabilidade e, sempre que possível, a água drenada deve ser bombeada para os pocetos, local disposto no navio para receber através de sistemas a água do porão. Portanto, nota-se que após o navio desatracar e iniciar sua navegação os cuidados e acompanhamento da carga devem continuar até o seu destino, pois tais medidas comprovam que a liquefação, e por conseqüência, instabilidade do navio, não ocorrerá se:

- 1 a carga contém partículas muito pequenas. Neste caso o movimento de partículas é restringido pela coesão e a pressão da água nos espaços entre as partículas da carga não aumenta;
- 2 a carga compõe-se de partículas grandes ou pedaços. A água passa pelos espaços entre as partículas e não há aumento na pressão da água. Cargas que se compõem inteiramente de partículas grandes não irão se liquefazer.
- 3 a carga contém uma alta porcentagem de ar e pouco conteúdo de umidade. Qualquer aumento na pressão da água é inibido. Cargas secas não são suscetíveis a se liquefazer. (IMSC, 2011, p. 37).

4.4 Impacto da alta umidade do minério de bauxita durante a navegação

Os perigos das cargas de bauxita surgiram em janeiro de 2015, quando o graneleiro MV Bulk Júpiter (Figura 28, imagem A e B) naufragou ao largo da Costa do Vietnã enquanto transportava uma tripulação de 19 homens e 46.400 toneladas de bauxita da Malásia à China. Apenas um homem sobreviveu ao naufrágio do navio e uma investigação realizada apontou para efeitos de liquefação como causa do acidente (BMA, 2015).

Figura 28 - Navio graneleiro Júpiter



Fonte: https://photos.fleetmon.com/vessels/jupiter_9287194_1209447_Medium.jpg.

A carga de bauxita fina transportada pelo navio graneleiro Júpiter foi carregada ao longo de 13 dias sob fortes chuvas.

A bauxita carregada no porto de Kuantan, na Malásia foi exposta a intempéries, aumentando o seu teor de umidade, pois o local onde era disposta no píer não dispunha de proteção (Figura 29), e ainda, a carga não passou por nenhum tipo de avaliação e controle antes do seu embarque nos porões dos navios (BMA, 2015).

Figura 29 - Bauxita descarregada no píer do porto de Kuantan

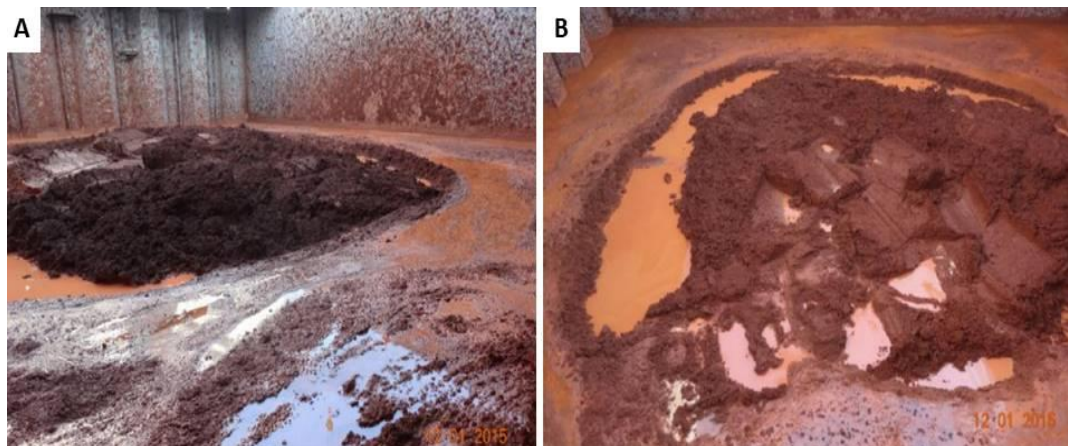


Fonte: BMA (2015).

Ensaio realizados indicaram que a carga foi carregada com um teor médio de umidade de 21,3%. Na investigação do incidente concluiu-se que a instabilidade da carga era provavelmente a causa raiz do naufrágio do navio, e devido à ausência de falha estrutural, resumiu-se à condição muito úmida da carga e ao relato do único sobrevivente que a liquefação da carga foi o principal motivo para a embarcação vir a naufragar (BMA, 2015).

No mesmo porto o navio graneleiro Orchid Island carregou seus porões de bauxita sobre as mesmas condições e durante a navegação a carga veio a se liquefazer (Figura 30, imagem A e B) o que comprovou que os formulários de declaração de carga eram genéricos, por exemplo tanto na declaração do Júpiter quanto na do Orchid Island, o teor de umidade declarado era de 10%, e como é sabido, o teor médio do Júpiter era de 21,3% e os porões do Orchid Island apresentaram líquido acumulado na superfície da carga. Portanto, tais declarações não forneciam informações úteis sobre o material transportado, ou seja, as informações não eram confiáveis, pois não possuíam nenhuma semelhança com a carga de fato carregada nos porões dos respectivos navios (BMA, 2015).

Figura 30 - Porão do navio graneleiro Orchid Island



Fonte: BMA (2015).

Como se pode notar através do ocorrido com o graneleiro Júpiter, o maior impacto que a alta umidade do minério de bauxita pode causar ao navio é seu naufrágio (Figura 31, imagem A e B), devido ao processo de liquefação que a carga irá sofrer fazendo com que o navio perca sua estabilidade, acarretando naufrágio.

Figura 31 - Navios naufragados devido a liquefação. A) Navio de Hong Kong B) Trans Summer



Fonte: HKMD (2005).

Considerando o acidente em 2005, somente a partir de 2009 houve a preocupação de se registrar as causas de acidentes marítimos. Assim, no período de 2009 a 2018 ocorreram acidentes com 9 navios devido à instabilidade da carga causada por liquefação, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Tabela apresentada com as causas de naufrágio de navios de 2009 a 2018

CAUSA REPORTADA	TOTAL DE PERDA DE VIDAS	TOTAL DE PERDA DE NAVIOS	PROVÁVEL CAUSA RAIZ	PERDA DE NAVIOS
LIQUEFAÇÃO	101	9	Falha no controle de carga.	9
COLISÃO	0	4	Falha de máquinas (1); Elemento humano (1); Desconhecido (2).	4
EXPLOSÃO	16	3	Desconhecida (2); Segurança da carga (1).	3
INUNDAÇÃO	0	6	Falha de máquina (1) Desconhecida (5).	6
ESTRUTURAL	0	1	Colisão	1
DESCONHECIDA	61	6	Falha de máquina (1); Desconhecidas (5)	6
TOTAL	178	29		29

Fonte: INTERCARGO (2019).

Portanto, para evitar a recorrência de acidentes semelhantes no futuro, os navios que transportam carga de bauxita que é sujeita a liquefação devem seguir rigorosamente:

1. Aos requisitos do Código IMSBC informado na circular CCC. 1/Circ.2/Rev.1 de 20 de setembro, 2017 (IMO, 2017), que estabelece especialmente a exigência de checar o teor de umidade da carga pelo transportador - se houver chuva ou neve -significativa durante o carregamento de carga a granel;
2. Todos os procedimentos de bordo relevantes para o planejamento da viagem evitando o clima adverso;
3. O plano de emergência para a ação imediata, como abandonar o navio etc., quando os navios apresentarem um adernamento sério.

5 CONCLUSÃO

O naufrágio de um navio que transportava carga de bauxita úmida e fina em 2015 levou a um esforço significativo da indústria em pesquisa para melhor avaliar o comportamento do minério de bauxita durante o transporte marítimo.

Mudanças regulatórias da IMO com base nas descobertas da indústria de bauxita, melhoraram a segurança de transporte no mar e devem ser conhecidas e seguidas por aqueles que estão envolvidos em operações de transporte de bauxita.

A classificação da carga de bauxita através de critérios de granulometria permite a avaliação simples do risco de instabilidade da carga de bauxita. Enquanto a determinação do TML irá garantir que a carga possa ser carregada nos porões dos graneleiros de acordo com o limite de umidade pré-estabelecido pela IMO em sua circular CCC. 1-Circ.2. Transporte de bauxita que pode se liquefazer (IMO 2017). As novas regras aplicadas ao transporte de bauxita devem ser seguidas com rigor e os portos avaliados e auditados de acordo com o que rege a IMO, além das normas brasileiras a fim de tornar possível um transporte marítimo, mais seguro.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, G. S. *et al.* **Estudo do Comportamento da Umidade em Minérios de Ferro**. Ouro Preto, 2001.
- ABNT NBR 16317:2014: Minérios de ferro - **Procedimentos para controle de umidade nos portos do Brasil para segurança no transporte marítimo de cargas**. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT NBR ISO 3082: Minérios de Ferro – **Procedimentos de amostragem e preparação de amostras**. Rio de Janeiro, 2011.
- ABNT NBR ISO 3087: Minérios de Ferro – **Determinação do teor de umidade de um lote**. Rio de Janeiro, 2012.
- ALVES, A. e HILÁRIO, V. **Geografia**. Hexag Sistema de Ensino, 2018.
- ANJOS, F. V. e SILVA, J. B. **As usinas de produção de alumínio da ALCAN no Brasil processo Bayer para produção de alumina e os processos eletrolíticos para a produção de alumínio**, ABM, São Paulo, 1983.
- BMA - Bahamas Maritime Authority. "M.V Bulk Jupiter": **Report of the marine safety investigation into the loss of a bulk carrier in the South China Sea on January 2nd 2015**. BMA, 2015.
- FERREIRA, R. F. *et al.* **Limite de Umidade Transportável De Minérios de Ferro: Transportable Moisture Limit of Iron Ores**: Regulatory and. p.16- 23, 2017.
- GIL, C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- GBWG. **Global bauxite working group report on research into the behavior of bauxite during shipping**. 2017. Disponível em: <https://www.bahamasmaritime.com/>. Acesso em 10 nov 2022
- HKMD - Hong Kong Special Administrative Region - Marine Department - **Marine Accident Investigation Section**. Report of Investigation into the Sinking of M.V. Hui Long on 20 May 2005.
- INTERCARGO. **Bulke Carrier casualty report**. 2019. Disponível em: www.intercarga.org/wp-content/uploads/2019. Acesso em: 10 nov. 2022
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO. CIRCULAR CCC1./ Circ.2: **Carriage of bauxites that may liquefy**. London, 20th of October, 2015.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO. CIRCULAR CCC.1-Circ.2: **Carriage of bauxite which may liquefy**. London, 20 September 2017.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO. **Código Marítimo Internacional para Cargas Sólidas à Granel (IMSBC)**. Como adotado pela Resolução MSC. 268(85) em caráter obrigatório a partir de 01/01/2011, de acordo com a Regra VI/1-2 da Convenção SOLAS, 2011.

MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS: **Norman 5/DPC**. Reconhecimento de laboratórios e empresas para realização de testes, aprovação de procedimentos de embarque de cargas sólidas sujeitas à liquefação ou outros tipos de instabilidade. 2017.

PEREIRA, E. **Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

QUARESMA, L. F. **Síntese da Geologia Brasileira** – Relatório Técnico 77 – Análise – Síntese da Geologia no Brasil. Minério de alumínio Relatório Técnico 22 – Perfil da mineração de Bauxita. 2009. Disponível em: Microsoft Word - RT_22.doc (mme.gov.br).

ROSE, Timothy Paul. **SOLID BULK SHIPPING: CARGO SHIFT, LIQUEFACTION AND THE TRANSPORTABLE MOISTURE LIMIT**. 2014. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Master Of Science, University Of Oxford, Oxford, 2014.

SAMPAIO, J; ANDRADE, M; DUTRA A. **Bauxita**. CETEM, Rio de Janeiro: 2005

SILVA, A. S. DA e SILVA, F. C. B. DA. **Curso de Mineração Básico: Módulo V: Logística de Transporte de Minérios**. VALE, 2012.