

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

ANA RITA LEAL MENDES

**IMPACTO DA PRECIPITAÇÃO NAS PARADAS DE EMBARQUE DE
MINÉRIO DE FERRO NO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA
MADEIRA, SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Everaldo Barreiros de Souza, Dr.

Belém / PA
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M538 Mendes, Ana Rita Leal

Impacto da precipitação nas operações de embarque de minério de ferro no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, São Luís/MA / Ana Rita Leal Mendes – Belém, PA: ITV, 2019.
28 f.: il.

Dissertação (mestrado) – Instituto Tecnológico Vale, 2020.
Orientador: Everaldo Barreiros de Souza, Dr.

1. Pluviometria. 2. Operações portuárias. 3. Climatologia. Título

CDD 23. ed. 551.6098121

ANA RITA LEAL MENDES

**IMPACTO DA PRECIPITAÇÃO NAS PARADAS DE EMBARQUE DE
MINÉRIO DE FERRO NO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA
MADEIRA, SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data da aprovação: 27/08/2019

Banca examinadora:

Everaldo Barreiros de Souza
Orientador – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Jorge Filipe dos Santos
Membro Interno - Instituto Tecnológico Vale (ITV)

João de Athaydes Silva Junior
Membro externo – Universidade Federal do Pará (UFPA)

DEDICATÓRIA

A Deus, sobre todas as coisas, Autor da minha vida e da minha história. Por todas as bênçãos, condução e consolo nos tempos de luta.

Aos meus amados pais, Domingos (*in memoriam*) e mãe Maria, que me ensinaram a andar no caminho certo, sem me desviar dele e pelo amor genuíno incessante.

A minha família preciosa, meu dedicado esposo Leonardo e a meu inestimável filho Pedro, pelas ausências suplantadas para que essa conquista fosse possível.

AGRADECIMENTOS

À Vale, pelo reconhecimento e oportunidade.

Ao meu orientador, Professor Dr. Everaldo Barreiros de Souza, pela orientação inestimável, pela confiança, paciência e aprendizado, possibilitando a conclusão dessa pesquisa científica.

Ao professor Dr. Pedro Walfir e Douglas Silva, do ITV, pelo auxílio e disponibilidade de informações.

Aos colegas do Mestrado, pelas experiências e conhecimentos compartilhados.

À equipe do ITV, em especial a Maíze Ferreira e Nisa Gonçalves.

A vida é bela e sempre apresenta caminhos e escolhas diversas. Silenciar entre um passo e outro regozija. Silenciar é necessário para realizar. Silenciar para ter a certeza de que viver é bom e é possível se eternizar nas criações que transcendem ao tempo, seja realizando, seja sonhando. Gratidão a todos que possibilitaram esse sonho uma realidade!

Gratidão!

RESUMO

Os eventos extremos de precipitação são considerados como um dos fatores externos naturais que mais afetam direta ou indiretamente as atividades da cadeia produtiva da mineração (mina, ferrovia e porto) particularmente no Sistema Norte da Vale (Pará e Maranhão). No presente trabalho, o foco é na investigação dos impactos do regime pluviométrico nas operações de embarque de minério de ferro no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM) em São Luís/MA. Baseado em análises estatísticas descritivas e cálculo de correlações entre os dados mensais e sazonais de precipitação e paradas operacionais (horas por mês) de embarque de minério no TMPM no período de 2013 a 2018 (mais o primeiro semestre de 2019) foram obtidos resultados que comprovam a relação direta e positiva entre os dados. Nos meses do regime chuvoso, entre janeiro a junho, ocorre cerca de 90% da precipitação anual e também se registram os maiores percentuais de horas paradas no processo de embarque, cerca de 85% da média anual. Nos meses do regime seco, embora com pluviometria em menor intensidade, também se verificou correlação positiva, ou seja, períodos de precipitação mais intensos são coincidentes com maior número de horas paradas de embarque no porto. Os dados de paradas do processo de embarque de minério apresentaram uma tendência positiva de crescimento no período de 2013 a 2019, sendo que este último ano foi muito atípico, com recordes nos meses de março e abril de 2019 que registraram um total de 347 e 425 horas, respectivamente, as quais correspondem em torno de 14 dias em março e cerca de 17 dias em abril com as operações de embarque de minério paradas. Portanto, as paradas operacionais de embarque pelo motivo de mau tempo representam um problema relevante para o Sistema Norte da Vale. Diante dessa problemática, foi feita uma análise para estimar as perdas econômicas decorrentes das paradas operacionais de embarque de minério. Os resultados indicam números expressivos, por exemplo, entre fevereiro e maio, as perdas são da ordem 1 milhão de toneladas por mês de minério que não é efetivamente embarcado devido as paradas no processo de embarque. Transformando a quantidade de minério não embarcado em perdas financeiras, a Vale deixou de embarcar cerca de 356 milhões de dólares (quase um bilhão e meio de reais) entre os meses de fevereiro e maio. Tais resultados são relevantes para as atividades de planejamento estratégico e tomadas de decisão da Diretoria de Portos Norte da Vale, possibilitando ações mais assertivas, considerando-se que os estudos indicam a intensificação de eventos extremos de pluviometria na estação mais chuvosa do ano, portanto, carecendo a adoção de medidas preventivas para minimização dos potenciais impactos negativos advindos das paradas operacionais por mau tempo (chuva). Por fim, recomenda-se a aquisição de um Radar Meteorológico Banda X (polarização dupla), objetivando o monitoramento em tempo real e alertas (nowcasting) dos eventos de chuva que subsidiarão as operações do TMPM, tanto para definir o tempo certo para desligar (pré-chuva) e o tempo certo para religar (pós-chuva) o sistema de embarque, potencializando o aumento de volume embarcado no TMPM.

Palavras-chave: Pluviometria. Operações portuárias. Climatologia.

ABSTRACT

Extreme precipitation events are considered as one of the natural external factors that most directly or indirectly affect the activities of the mining production chain (mine, railroad and port) particularly in Vale's Northern System (Pará and Maranhão). In the present work, the focus is on investigation of the rainfall impacts on iron ore shipping operations at the Ponta da Madeira Maritime Terminal (TMPM) in São Luis-MA. Based on descriptive statistical analysis and calculation of correlations between monthly and seasonal precipitation data and operational stoppages (hours per month) of ore shipment in the TMPM from 2013 to 2018 (and the first semester of 2019), the obtained findings have demonstrate the direct and positive relationship between these data. In the months of the rainy season, between January and June, about 90% of annual precipitation occurs and also the highest percentages of shipment stoppages process, about 85% of the annual average. In the dry regime months, although with lower rainfall, there was also a positive correlation, that is, more intense precipitation periods coincide with a higher number of stopped hours at the port operations. Iron ore shipment data showed a positive upward trend in the period from 2013 to 2019, and this last year was very atypical, with records in March and April 2019 which totaled 347 and 425 hours, respectively, which correspond to around 14 days in March and 17 days in April with the shipment operations halted. Therefore, operational stops at TMPM due to bad weather represent a relevant problem for Vale's Northern System. Given this problem, an analysis was made to estimate the economic losses resulting from these operational stops of ore shipment. The results indicated significant numbers, for example, between February and May, losses are around 1 million tons per month of ore that is not actually shipped due to the stops in the shipping process. Turning the amount of unloaded ore into financial losses, Vale did not ship about \$ 356 million (almost one and a half billion reais) between February and May. These results are relevant to the strategic planning and decision-making activities of Vale's North Ports Department, enabling more assertive actions, considering that the studies indicate the intensification of extreme rainfall events in the rainy season, thus requiring the adoption of preventive measures to minimize the potential negative impacts from operational shutdowns due to bad weather (rainfall). Finally, it is recommended to purchase a dual-polarization X-band Weather Radar for real-time monitoring and nowcasting of rainfall events that will support TMPM operations, both to set the right shutdown time (pre-rain) and the right time to restart (post-rain) the iron ore shipment system, potentiating the port operations at TMPM.

Keywords: Rainfall. Port Operations. Climatology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e limites da Ilha de São Luís/MA.	14
Figura 2 - Precipitação pluviométrica anual do Maranhão.....	14
Figura 3 - Imagens da Temperatura da Superfície do Mar - TSM	18
Figura 4 - Matriz de eventos extremos e suas potenciais causas no TMPM.....	21
Figura 5 - Registros fotográficos dos impactos dos eventos extremos de chuva em 2018 no TMPM nos setores A de a F.....	23

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CPM – Complexo de Ponta da Madeira

DS – Desenvolvimento Sustentável

ITV – Instituto Tecnológico Vale

NUGEO/UEMA – Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão

TMPM – Terminal Marítimo de Ponta da Madeira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	CLIMATOLOGIA DO MARANHÃO NA REGIÃO COSTEIRA	13
2.1.1	Aspectos meteorológicos e climatológicos no Maranhão	13
2.1.2	Particularidades na pluviometria da região litorânea de São Luís	15
2.1.3	Características da variabilidade pluviométrica na região de São Luís	16
2.2	METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA NA MINERAÇÃO PORTUÁRIA ...	19
2.2.1	Eventos extremos de precipitação	19
2.2.2	Impactos na cadeia da mineração	20
2.2.3	Efeitos/impactos na operação de embarque de minério	21
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	27
	APÊNDICE	29

1 INTRODUÇÃO

A Vale é a maior companhia de mineração do Brasil e suas atividades operacionais são dependentes de diversos fatores internos (sistemas complexos de logística, engenharia e tecnologia, bem como mão de obra especializada) e externos (a exemplo, das condições de tempo e clima regional). De certa forma, os fatores internos são gerenciados pelas Diretorias da Vale através de ações e estratégias de planejamento integrado corporativo. Contudo, um dos fatores externos relevantes, que fogem ao controle empresarial pelo fato de serem de origem natural, são os fenômenos meteorológicos e climatológicos.

Os fatores naturais externos, particularmente os eventos extremos de precipitação pluviométrica de curta ou longa duração, afetam ou impactam direta ou indiretamente as diversas etapas da cadeia da mineração na mina, ferrovia e porto. No presente trabalho, o foco é na investigação dos impactos dos eventos meteorológicos especificamente nas operações de embarque de minério de ferro no porto em São Luís no litoral norte do estado do Maranhão, denominado de Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM). O TMPM representa um dos principais ativos da Vale, sendo um dos mais importantes terminais de embarque de minério de ferro e manganês do mundo. Sua posição estratégica possibilita a atracação dos maiores navios do planeta, atingindo o volume anual embarcado de até 230 milhões de toneladas.

Como sintetiza Siqueira (2002) apud Robles et al. (2013), um porto eficiente é aquele que minimiza a permanência do navio, sendo que a garantia da performance de escoamento depende de algumas variáveis, tais como: capacidade de estocagem, acessibilidade, capacidade de movimentação e profundidade para recebimento de navios de grande porte, todas presentes no TMPM, o que lhe assegura posição de destaque entre os portos do Brasil.

Contrária as essas variáveis de eficiência temos as questões meteorológicas e climatológicas locais, notadamente a precipitação que é reconhecida como a variável climática mais importante na caracterização do clima da região da Amazônia (SOUZA et al., 2017). Devido a sua variabilidade, tanto em intensidade quanto em distribuição espacial, a precipitação tem sido um dos fatores limitantes para fins de planejamento e manejo dos recursos naturais (AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

De fato, em virtude das operações portuárias serem executadas a céu aberto, como é o caso do embarque de minério no TMPM em São Luís, torna-se relevante o desenvolvimento de estudos com abordagem de pesquisa científica interdisciplinar envolvendo variáveis do meio ambiente físico ou natural (clima regional, denotado pela precipitação) e da cadeia produtiva envolvendo aspectos humanos e operações tecnológicas (quantidade de minério embarcado no porto). Essa é a temática central da presente pesquisa que resultou na elaboração de um relatório técnico conclusivo (Apêndices), cujos resultados permitirão alcançar um melhor entendimento da climatologia regional, bem como prover informações para subsidiar as atividades de planejamento das operações portuárias ligadas à indústria da mineração. Os resultados darão contribuição para a definição de soluções preventivas para evitar ou diminuir as possíveis paradas, perdas ou danos na cadeia produtiva, contribuindo para a geração de valor nas operações logísticas da mineração no Corredor Norte da Vale, notadamente em São Luís/MA.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral é determinar os impactos do regime pluviométrico em escala regional nas operações de embarque de minério de ferro do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM).

Os objetivos específicos são:

- (i) Caracterizar a sazonalidade da precipitação na região do TMPM em São Luís;
- (ii) Determinar os impactos da precipitação nas paradas operacionais do sistema de embarque de minério de ferro no TMPM; e
- (iii) Estimar as perdas econômicas decorrentes das paradas de embarque no TMPM.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CLIMATOLOGIA DO MARANHÃO NA REGIÃO COSTEIRA

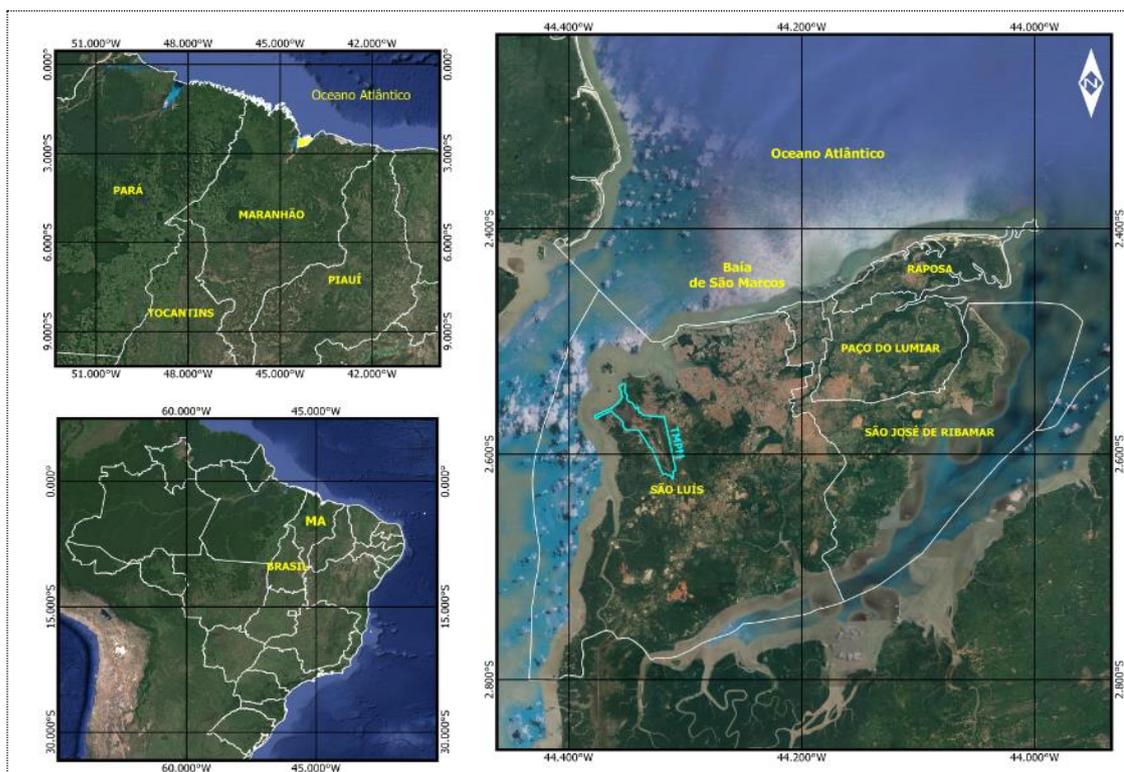
2.1.1 Aspectos meteorológicos e climatológicos no Maranhão

Para Ayoade (1980), apud UEMA/NUGEO (2016), “o clima de uma determinada região é representado pelo conjunto de características predominantes tais como precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa, vento, evaporação, pressão atmosférica [...]”, ou seja, “o clima é a síntese do tempo (meteorológico) num determinado lugar [...]”, possibilitando compreender a climatologia de uma região e seus efeitos na vida do homem. E dentre os elementos atmosféricos, a pluviosidade é que reserva a maior capacidade para causar desordens no espaço humano, seja pela escassez, seja pela abundância (PINHEIRO, 2017).

A ilha de São Luís/MA está localizada a norte do Maranhão, no litoral costeiro do estado, separada do continente pelo Estreito dos Mosquitos. Limita-se ao norte com o Oceano Atlântico; a sul com Estreito dos Mosquitos, a leste com as Baías de São José de Ribamar e do Arraial e a oeste com a Baía de São Marcos (RABÊLO, 2001, apud SOUSA, 2009), conforme pode-se visualizar na Figura 1. A Ilha de São Luís divide o Golfão Maranhense em duas partes, sendo uma a Baía de São Marcos (100 km de extensão) e a outra a Baía de São José. A Baía de São Marcos está localizada na costa Ocidental do Maranhão, na região Portuária do Itaqui, onde estão localizados os Portos de Ponta da Madeira e do Itaqui, os quais desempenham importante atividade de transporte minérios. A direção dos ventos é predominantemente leste-nordeste (E-NE), com velocidade de até 30 kt (SOUSA, 2009).

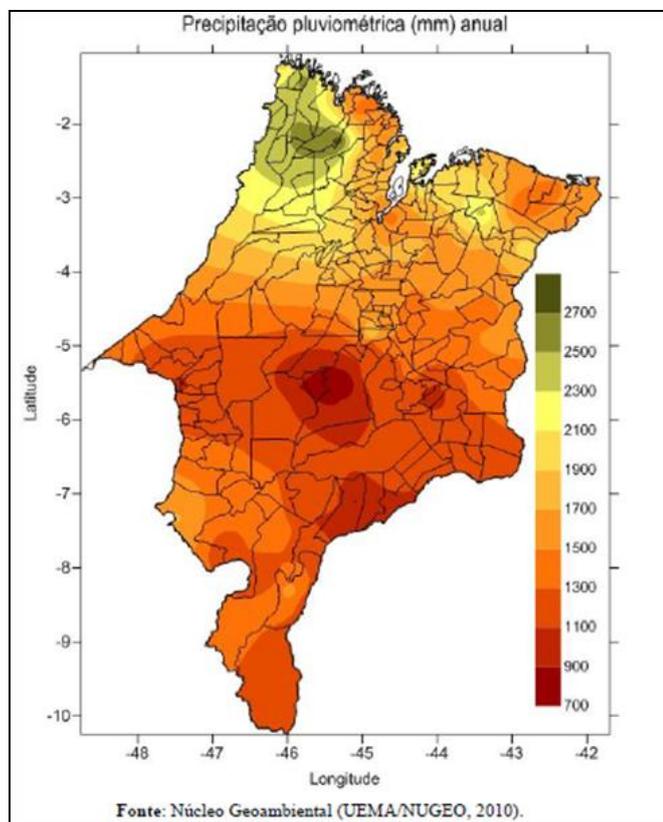
O Maranhão tem clima predominantemente tropical (quente e úmido), com duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa (janeiro a junho) e uma estação seca (julho a dezembro). Tem índice pluviométrico anual variando entre 700 mm na região central a superiores 2200 mm, sendo que o maior volume (média de 1600mm) recai sobre a região norte e noroeste, onde se encontra a cidade de São Luís e toda a zona industrial da Ilha, conforme ilustrado no mapa apresentado na **Figura 1** abaixo (NUGEO/UEMA, 2016).

Figura 1 - Localização e limites da Ilha de São Luís/MA.



Fonte: Elaborado pela autora por meio do Google Earth

Figura 2 - Precipitação pluviométrica anual do Maranhão



Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2010).

Fonte: NUGEO/UEMA (2016)

O segundo elemento mais importante para o estudo do clima é a temperatura do ar. No Maranhão a temperatura média anual é de 26,5°C. Registram-se as temperaturas mais elevadas na primavera (setembro, outubro e novembro), enquanto que o período mais ameno pode ser sentido de janeiro a abril, por serem os meses mais chuvosos em todo Estado. A temperatura média anual mais elevada, acima de 27°C, pode ser sentida nos municípios de São Luís, Rosário, Itapecuru Mirim, Chapadinha, Urbano Santos, Barreirinhas, Viana, Pinheiro, Bacabal, Codó e Caxias, enquanto que a temperatura média anual mais baixa está sobre os municípios que compõe a região de Balsas, no extremo sul do Estado, conforme atestam os estudos da NUGEO (2016).

A meteorologia refere a umidade atmosférica como sendo presença de vapor d'água na atmosfera, sendo esse um dos parâmetros utilizados para definir o grau de conforto ambiental para pessoas e animais, como pode-se verificar nas pesquisas feita pela NUGEO (2016, p.), a saber:

No Estado do Maranhão a umidade relativa do ar média anual é aproximadamente de 80 %. Os meses mais úmidos vão de janeiro a maio, com cerca de 85 %. [...]. As áreas mais úmidas com valores de umidade relativa do ar acima de 80 % correspondem aos municípios de São Luís, Rosário, Viana, Barreirinhas, Pinheiro, Zé Doca e Itapecuru Mirim. Os altos valores de umidade relativa do ar no Norte do Maranhão refletem a influência oceânica sobre o clima destas localidades.

Em suma, os estudos no Maranhão apontam que o estado possui clima predominante tropical úmido, com excesso de água nos meses de janeiro a maio (meses mais chuvosos do ano) e deficiência de água (meses mais secos do ano) nos meses de julho a setembro (NUGEO, 2016).

2.1.2 Particularidades na pluviometria da região litorânea de São Luís

O Maranhão apresenta um fator determinante para o seu clima, que é a sua posição geográfica, localizada numa zona de transição climática, entre o clima amazônico (quente e úmido) e a região semiárida do Nordeste, atribuindo-lhe características peculiares (MENEZES, apud PINHEIRO, 2017).

Além de sua posição geográfica, o estado possui grande área territorial, contribuindo significativamente para a sua diversidade climática situada entre o

litoral e a porção localizada dentro do bioma Amazônico. A distribuição de precipitação aumenta da direção sudoeste para noroeste do Estado (PINTO et al., 2011 apud CAMPOS et al., 2015).

As primeiras chuvas começam a cair entre o final de dezembro e o início de janeiro. Durante estes dois meses é comum alguns dias serem nublados, outros chuvosos e outros ensolarados, caracterizando assim o período de transição entre o período de estiagem e o chuvoso.

O conhecimento da distribuição e espacialização das chuvas é decisivo para um adequado planejamento das atividades humanas e também do setor econômico. Conhecer previamente os aspectos do tempo permite uma atuação antecipada para diminuição de seus impactos. Conhecer a dinâmica pluvial de um local representa importante ferramenta para análise e prevenção de riscos ambientais associados a essa dinâmica climática, como enchente, inundações, perdas por paradas na produção, impactos na saúde, [...] (PINHEIRO, 2017).

2.1.3 Características da variabilidade pluviométrica na região de São Luís

Sousa (2015) afirma em seus estudos que “a precipitação é um dos principais elementos climáticos na região tropical, pois além de influenciar no comportamento de outros elementos atmosféricos (umidade relativa do ar e temperatura do ar), a precipitação é a que melhor caracteriza as variabilidades climáticas [...]”.

Corroborando nesse sentido, Menezes (2009), apud Nascimento (2017), ressalta que a variabilidade da pluviosidade no estado do Maranhão também está relacionada com a riqueza e diversidade de seus ecossistemas formadores de seu espaço geográfico como suas florestas, várzeas, cerrado, manguezais, dunas e chapadões.

Além disso, a sua grande extensão territorial é decisiva para atuação de diferentes sistemas meteorológicos, como a ZCIT, o principal sistema meteorológico indutor de chuva na região, que se forma no cinturão de nuvens que nascem do encontro dos ventos alísios na faixa equatorial do globo, contando ainda com a influência das condições dos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical, conforme estudos de Reboita, et al. (2010), Nascimento (2014); Barros e Oyama (2010) citados por Nascimento, et al. (2017, p. 376).

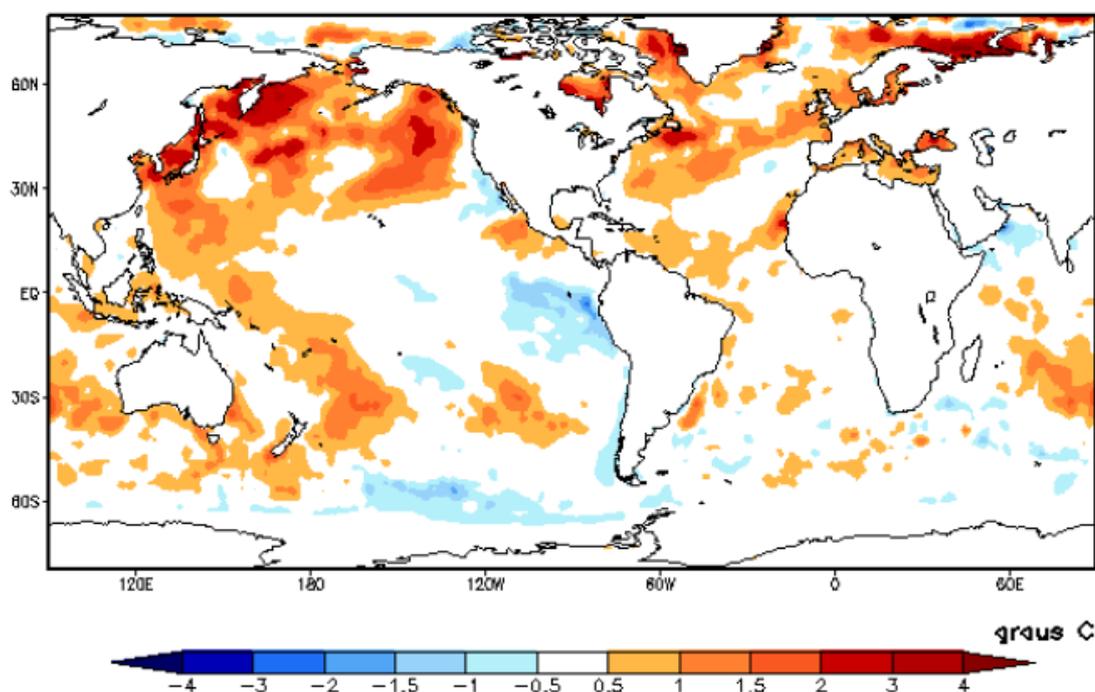
No geral, os principais sistemas atmosféricos inibidores ou causadores de chuva sobre a região Nordeste do Brasil, exercem influência significativa sobre o Maranhão. Esses mecanismos são brevemente caracterizados abaixo, conforme podemos verificar nos estudos de Ferreira (2005) e NUGEO (2017):

- **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT):** é um cinturão de nuvens formado pelo encontro dos ventos alísios na faixa equatorial do globo. A ZCIT é mais significativa sobre os oceanos, e por isso, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos fatores determinantes na sua posição e intensidade. A atuação desse mecanismo provoca chuvas na região em que atua.
- **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS):** É uma região de convergência de umidade em baixos e médios níveis que ocorre em uma faixa orientada de noroeste a sudeste atravessando o Brasil. Geralmente esta região está associada com abundante nebulosidade e precipitação que atua no mínimo três dias e ocorre nos meses de outubro a abril.
- **Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN):** são um conjunto de nuvens que têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. É um sistema de baixa pressão atmosférica, de escala sinótica, que se forma na média e alta troposfera (entre 5 e 13 quilômetros de altitude). Pode tanto inibir quanto causar chuvas.

Ainda nesse sentido, Pinheiro (2017) afirma que a ZCIT é o principal fenômeno de atuação e produção de chuva no Maranhão. Além do protagonismo da ZCIT, tem também a atuação isolada ou conjunta dos ventos alísios e locais (brisa marítima e terrestre), dos fenômenos cíclicos como El Niño e La Niña e das manifestações do Dipolo do Atlântico (diferença entre a anomalia da TSM na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul), sendo esses os principais mecanismos de atuação atmosférica geradores de chuva no norte do nordeste do Brasil e pela atual configuração climatológica na ilha de São Luís (NUGEO/UEMA,

2016). A ZCIT é mais significativa sobre os oceanos, sendo a TSM um dos fatores determinantes para a sua posição e intensidade (DOURADO, 2013). É imprescindível a análise desses dados sobre o Oceano Pacífico, bem como sobre o Oceano Atlântico Tropical, pois a evolução dessas temperaturas oceânicas é que vai determinar como será o comportamento das chuvas, se acima ou abaixo da média histórica (NUGEO/UEMA, 2016), como apresenta a Figura 3.

Figura 3 - Imagens da Temperatura da Superfície do Mar - TSM



Fonte: CPTEC/INPE, (2013).

O El Niño (aquecimento acima do normal das águas do oceano Pacífico Equatorial) é um fenômeno climático, de caráter atmosférico-oceânico, sendo esse fenômeno um dos responsáveis pela redução das chuvas na região norte do Nordeste do Brasil. Enquanto que o fenômeno La Niña (resfriamento anômalo das águas do Oceano Pacífico), associado ao dipolo negativo do Atlântico (favorável às chuvas), é normalmente responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região (MELO, 2005). Ambos os fenômenos alteram a dinâmica geral da atmosfera, bem como o comportamento climático (BERLATO et al., 2003, apud DOURADO, 2013).

Além dos fenômenos e mecanismos de grande escala supramencionados, há também a manifestação de fenômenos de escala local, a exemplo das brisas marítimas e terrestres que resultam do aquecimento e resfriamento entre a terra (continente) e a água (mar), sendo que durante o dia, o vento sopra do mar para o continente e à noite o continente perde calor para o mar, ficando com temperaturas mais elevadas se comparadas às do continente (MELO, 2005).

2.2 METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA NA MINERAÇÃO PORTUÁRIA

2.2.1 eventos extremos de precipitação

No Brasil as maiores ocorrências de eventos extremos estão relacionadas aos fenômenos hidrológicos conforme afirma Dourado (2013). É sabido que o Nordeste do Brasil enfrenta os rigores das variações climáticas, sendo característica marcante do clima semiárido. As mudanças climáticas têm como consequência direta a alteração na frequência e distribuição das chuvas, aumentando as ocorrências de eventos climáticos extremos (SANTOS, 2014). Dessa forma, os eventos climáticos extremos (déficit ou excesso) são responsáveis pelas grandes catástrofes naturais, causando grandes transtornos sociais e provocando perdas produtivas incalculáveis (FARIAS, et al., 2012). Compreender as condições climáticas é imprescindível para a identificação das áreas de maiores riscos de eventos climáticos extremos, possibilitando a antecipação das tomadas de decisões nos setores socioeconômicos e ambientais por meio da implementação das ações preventivas para minimização de impactos severos na produção.

Como mencionado anteriormente, o conhecimento da climatologia de uma região é fundamental para orientar o planejamento de diversas atividades humanas, uma vez que o clima é capaz de sintetizar todos os elementos climáticos e seu comportamento (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

Para tanto, verifica-se que a escassez de estudos climatológicos no Maranhão não condiz com a sua importância ecológica e geograficamente estratégica (SILVA, et al., 2014), dificultando uma análise mais abrangente e aprofundada de suas nuances climatológicas, meteorológicas e seus impactos nas ocorrências de eventos extremos. Nesse sentido, Silva et al. (2014, p. 123), afirma que “As mudanças na frequência e distribuição das chuvas numa região está

diretamente relacionada as mudanças do clima, aumentando a incidência dos eventos climáticos extremos”.

Para Guedes et al. (2012), apud Nascimento et al. (2017, p. 384), “As chuvas mais intensas na parte norte do estado estão associadas à sua proximidade com o Oceano Atlântico, que serve de fonte de energia e umidade para os sistemas atuantes de escala regional como a ZCIT, Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) e também local (brisas marítimas).

Nascimento (2017) conclui também em suas pesquisas que a “A maioria dos casos de eventos extremos secos/chuvosos, ocorreram em anos de El Niño/La Niña, especialmente na região Norte” do estado do Maranhão, objeto da presente pesquisa.

A sazonalidade da precipitação da estação chuvosa (NOBRE, et al., 2009) no Maranhão estão relacionadas à atuação dos sistemas inibidores ou causadores de chuva sobre a região Nordeste do Brasil.

Marengo (2009) afirma ainda que as chuvas torrenciais registradas no norte e na Amazônia oriental (novembro de 2008 a março de 2009) afetaram muito o rio Amazonas e seus afluentes, incluindo o rio Rio Negro em que Manaus se localiza, reforçando ainda mais as teorias de que esses extremos de pluviometria podem se tornar mais corriqueiros e intensos em uma futura mudança climática.

2.2.2 Impactos na cadeia da mineração

A mineração também sofre com os impactos dos eventos extremos de chuva, seja com sua escassez (seca), seja com a abundância/excesso de pluviometria. As companhias mineradoras que atuam em áreas de chuva excessiva se organizam de maneira a minimizar esse impacto e as desordens que podem comprometer todo o planejamento anual de movimentação e embarque, desabastecendo o mercado de usuários ao redor do mundo. Como sabemos, o minério é uma matéria prima essencial na produção de uma diversidade de produtos que fazem parte da nossa vida no dia a dia.

Todavia, apesar das incertezas nas projeções climáticas futuras, os incidentes na logística da Vale demonstram que os eventos meteorológicos, como precipitação acima da média, representam um risco potencial para a sua operação no Corredor

Norte (Carajás a São Luís), conforme eventos e causas destacados na Figura 4 abaixo.

Figura 4 - Matriz de eventos extremos e suas potenciais causas no TPM

Descrição do evento	Causa (relacionada a eventos meteorológicos)	Risco Atual	Níveis de Risco (!)	
			≥ 140	< 25
Perda da linha de transmissão em 230kV	Queimadas na faixa de servidão da linha	96 ^a	70-140	< 25
Colapso estrutural de equipamento portuário	Ventos fortes	48	25-70	< 25
Transbordo da Bacia Leste contribuindo no alagamento da comunidade do Fumacê	Não há causas listadas; porém, o aumento da temperatura e/ ou alteração dos padrões de pluviosidade na região podem levar ao evento descrito (seca)	40	< 25	< 25
Colisão de embarcações contra o pier e/ou embarcações atracadas	Embora 'ventos fortes' / mau tempo não esteja listado como causa, recomenda-se avaliar se isso pode levar ao evento descrito	24	< 25	< 25
Acidente marítimo grave paralisando as operações do Porto	Mau tempo	24	< 25	< 25
Redução da capacidade de produção em virtude de falta de água	Perda de poços (intrusão salina, colapso estrutural); Seca na lagoa Mapaúra, bacia leste e oeste e boqueirão	0 N/A	< 25	< 25
Intempéries ocasionando paradas operacionais, defeitos em equipamentos ou excesso de umidade no minério.		0 N/A	< 25	< 25

Fonte: Vale; ITV, (2017)

2.2.3 Efeitos/impactos na operação de embarque de minério

Como dito anteriormente, o TPM da Vale opera as atividades de recebimento, descarregamento, armazenamento, transporte e embarque de minério de ferro no complexo portuário em São Luís/MA. Esse Terminal está localizado no módulo H do distrito industrial de São Luís, a norte da Ilha de São Luís, ante a Baía de São Marcos, no Oceano Atlântico. O TPM tem programação anual de embarque de minério de 230 milhões de toneladas, visando garantir a entrega desse volume aos seus clientes nos diversos continentes do mundo. Esse terminal faz uso do sistema de previsão da aeronáutica, localizado no aeroporto de São Luís, que tem alcance de 240 km de extensão, permitindo a empresa realizar/adequar o planejamento das atividades de recebimento, armazenamento e embarque de minério no navio, mesmo no período chuvoso (janeiro a junho).

O Terminal de Ponta da Madeira está localizado na região norte da Ilha de São Luís, onde a concentração de chuvas é alta, estando exposto a ocorrência de eventos extremos (excesso) de chuva na estação chuvosa, compreendida entre janeiro a junho, o que acarreta em impactos nas programações de embarque,

causando paradas operacionais, as vezes desnecessárias, quando a previsão pluviométrica falha, o que acaba afetando drasticamente o processo produtivo de movimentação e embarque de minério nesse terminal.

O Corredor Norte da Vale vem enfrentando esse desafio a cada ano. A Figura 5 ilustra os diversos impactos em toda a cadeia de operações e da logística no TMPM quando da ocorrência de eventos extremos de precipitação registrados em 2018, desde o momento do descarregamento nos viradores de vagões (Figura 5A), como também na estocagem do minério nos pátios (Figuras 5B e 5C), nas oficinas de manutenção de equipamentos móveis (Figura 5D) ou no momento do embarque do minério nos navios (Figuras 5E e 5F), pois o minério tem de preservar um percentual adequado de umidade, que é de até 9%, para que seja viável o transporte marítimo da carga para outros continentes, com segurança. Caso esse teor de umidade do minério esteja acima de 9%, quando disposto nos porões do navio, com o passar do tempo, a medida que o navio vai movimentando, o minério vai se liquefazendo e criando uma superfície livre de água sobre o material sólido (minério), podendo comprometer a segurança da navegabilidade desse navio.

Figura 5 - Registros fotográficos dos impactos dos eventos extremos de chuva em 2018 no TMPM nos setores A de a F.

A
fosso do virador
de vagões no
descarregamento



B
áreas dos pátios
de estocagem
de minério



C
áreas dos pátios
de estocagem
de minério



D
área da oficina de
manutenção



E
áreas de embarque
de minério nos navios



F
áreas de embarque
de minério nos navios



Fonte: próprio autor, (2019).

No período chuvoso de 2019 registraram-se vários episódios extremos de precipitação em São Luis, os quais produziram um cenário caótico no sistema de embarque de minério de ferro em toda a sua história. E para agravar mais ainda, o minério do S11D apresenta uma característica peculiar que é a de reter por mais tempo a água entre suas partículas, sendo que a água requer mais tempo para escoar até atingir a umidade adequada para ser carregado nos porões dos navios. O TMPM teve que paralisar o sistema de embarque por vários dias, aumentando a fila de espera dos navios na área de fundeio da Baía de São Marcos por mais de 30 dias, um momento ímpar da Vale no Maranhão, devido ao alto índice pluviométrico na Ilha nos meses de março a abril do ano de 2019.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa propôs identificar os impactos da pluviometria no embarque de minério de ferro no TMPM. Essa investigação foi concebida considerando as análises dos dados pluviométricos registrados localmente e as paradas operacionais de embarque no TMPM no período de 2013 a 2018 (mais o primeiro semestre de 2019), bem como a estimativa da perda econômica decorrente das paradas por mau tempo no porto.

Em resposta aos objetivos propostos dessa pesquisa científica, conclui-se que:

- O estudo aponta que as médias mensais da precipitação registradas na estação do INMET ao longo dos últimos 30 anos (181,3 mm) quando comparadas com as médias mensais da estação do Porto Vale dos últimos 8 anos (177,5 mm), apesar de apresentarem grandes variações pluviométricas, tem similaridade alta nas variações mensais de precipitação da parte central da cidade e na região do Porto de Ponta da Madeira da Vale;
- A pesquisa aponta ainda que no regime chuvoso os meses de março e abril apresentam os valores máximos ao longo do ano, com 430 e 427 mm, respectivamente, enquanto que no regime seco, os meses com valores mínimos anuais ocorrem em setembro e outubro, com 4,8 e 3,7 mm;
- Ficou evidenciado que o número de horas paradas no embarque varia diretamente com o acumulado mensal da chuva no porto, ou seja, os meses com maior volume pluviométrico são coincidentes com o maior tempo de parada no embarque;
- Na análise das variações no período de 2013 a 2019, nota-se uma tendência positiva de aumento de horas paradas, sendo que o ano de 2019 foi muito atípico, com recordes nos meses de março e abril que registraram um total de 347 e 425 horas, respectivamente. Essas horas somam em torno de 14

dias em março e cerca de 17 dias em abril de 2019, com as operações de embarque de minério paradas;

- Os meses de regime chuvoso (janeiro a junho) e os meses de regime seco (julho a dezembro), constata-se as variações das paradas no embarque oscilando em fase com a ocorrência de precipitação ao longo dos meses;
- O estudo aponta no diagrama de dispersão e nas correlações que a relação é direta e positiva entre os dados, ou seja, os valores mais altos (mais baixos) de horas paradas no processo de embarque ocorre nos meses com maior (menor) acumulação de chuva na região; e
- Pela relação positiva e direta entre tempo total de paradas no sistema de embarque e a acumulação de chuva na região, fica demonstrado a correspondência alta entre esses dados, bem como fica claro o efeito dos eventos de chuva nas operações do TPM.

Convertendo esses resultados nas perdas econômicas, temos:

- Os maiores percentuais de precipitação são observados durante os primeiros cinco meses do ano, sendo 10% em janeiro, 17% em fevereiro, 19% em março e abril e 18% em maio, totalizando 83% da precipitação anual, sendo que os maiores percentuais de paralizações mensais (entre 14% e 18%) ocorrem entre fevereiro e maio;
- Entre fevereiro e maio, os prejuízos são superiores a 1 milhão de toneladas por mês, com maiores perdas em março, cujo total mensal de minério não embarcado corresponde a 20% do total anual de perdas; e
- Transformando a quantidade de minério não embarcado em perdas financeiras, a Vale deixaria de embarcar cerca de 356 milhões de dólares (quase um bilhão e meio de reais atualmente) entre os meses de fevereiro e maio. Mesmo no

período seco, a economia seria de quase cinquenta milhões de dólares, caso o embarque seja otimizado diante da ocorrência de eventos chuvosos.

Esses resultados são relevantes para as atividades de planejamento estratégico e tomadas de decisão da Diretoria de Portos Norte, possibilitando ações mais assertivas, considerando-se que os estudos indicam a intensificação de eventos extremos de pluviometria na estação mais chuvosa do ano (janeiro a junho), carecendo a adoção de medidas preventivas ou para minimização dos potenciais impactos negativos advindos das paradas por mau tempo (chuva) nas operações do TMPM, as quais são de grande importância para a cadeia produtiva da mineração no Corredor Norte.

E como estratégia para adequação do planejamento das atividades operacionais do TMPM para minimizar as paradas além do tempo necessário, reduzindo as perdas em decorrência das falhas nas previsões atmosféricas, recomenda-se a aquisição de um radar meteorológico de banda X (polarização dupla), objetivando o monitoramento adequado das condições atmosféricas, que subsidiará as operações do embarque do TMPM, tanto para definir o tempo certo para desligar (pré-chuva) e o tempo certo para religar (pós-chuva) o sistema de embarque, potencializando o aumento de volume embarcado.

Essa medida preventiva justifica-se pela indubitável perda econômica, demonstrada na análise das horas improdutivas do sistema de embarque de minério de ferro, não restando dúvidas de que a aquisição desse radar trará um valor agregado incalculável para o negócio.

REFERÊNCIAS

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA C. C. Padrões Espaço-Temporal Pluviométrico na Amazônia Oriental Utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, n. 4, p. 423 – 434, 2012.

CAMPOS, Alcinei Ribeiro *et al.* **Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão**. Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, V.23 N.5, 2015.

SOUZA, E. B. *et al.* Padrões Climatológicos e Tendências da Precipitação nos Regimes Chuvoso e Seco da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 81-93, 2017.

DOURADO, Camila Da Silva. **Mineração de dados climáticos para análise de eventos extremos de precipitação**. Universidade Estadual de Campinas, SP, 2013.

FARIAS, RAFHAEL FHELPE DE LIMA *et al.* Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do sertão pernambucano, **Revista Geonorte**, ed. esp. 2, v.1, n. 5, p.930 – 941, 2012.

FERREIRA, Antonio Geraldo; MELLO, Namir Giovanni Da Silva. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

MARENGO, Jose Antonio *et al.* **Climatological and hydrological context of recent floods**. Extreme climatic events in the Amazon basin, 2009.

MARTINS, Marlúcia Bonifácio; OLIVEIRA, Tadeu Gomes. **Amazônia Maranhense: diversidade e conservação**. Belém, PA: MPEG, 2011.

NASCIMENTO, Francisco Das Chagas Araújo do *et al.* Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, 2017.

NOBRE, C. A. *et al.* **Características do Clima Amazônico: Aspectos principais**. Amazonia and Global Change, 2009.

PINHEIRO, Juarez Mota. Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na ilha do Maranhão no ano de 2016. **Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 3, n.8, 2017.

ROBLES, L. T. *et al.* Fatores intervenientes na operação e logística portuária: Estudo de caso do processo de embarque e descarga do Terminal Portuário de Ponta da Madeira – TPPM. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 9., 2013, Rio de Janeiro, 20 a 22 junho de 2013. **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2013.

SANTOS, Luiz Eduardo Neves dos. **Caracterização sócio-ambiental de São Luís-MA**, Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural – INCID, Prefeitura de São Luís, 2014.

SILVA, B.; SANTOS, J. R. N.; ARAÚJO, M. L. S. de; SILVA, JÚNIOR, C. H. L. Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. **In: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS**, 14., Cubatão, Brasil. 2014.

SOUSA, Janyed Karla Castro. **Avaliação de Impactos Ambientais causados por metais-traço em água, sedimento e material biológico na Baía de São Marcos, São Luís - Maranhão**. 2009. 110 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. NÚCLEO GEOAMBIENTAL (NUGEO). **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís: NUGEO, 2016.

APÊNDICE

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE



PROD. TEC. ITV DS / N007/2020

DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.Leal

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA

IMPACTO DA PRECIPITAÇÃO NAS PARADAS DE EMBARQUE DE MINÉRIO DE FERRO NO TERMINAL MARÍTIMO DE PONTA DA MADEIRA, SÃO LUÍS/MA

Ana Rita Leal Mendes

Belém / PA

Novembro / 2019

Título: Impacto da precipitação nas paradas de embarque de minério de ferro no terminal marítimo da Ponta da Madeira, são Luís/MA	
PROD. TEC. ITV DS – N007/2020	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M538 Mendes, Ana Rita Leal

Impacto da precipitação nas operações de embarque de minério de ferro no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, São Luís/MA / Ana Rita Leal Mendes – Belém, PA: ITV, 2020.

26 f.: il.

Relatório técnico - Instituto Tecnológico Vale, 2019.
 PROD.TEC.ITV DS / N007/2020
 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.Leal

1. Pluviometria. 2. Operações portuárias. 3. Climatologia. Título

CDD 23. ed. 551.6098121

Bibliotecário(a) responsável: Nisa Gonçalves. CRB: 2 – 525

RESUMO EXECUTIVO

Esta pesquisa se propôs analisar os impactos do regime de chuva nas operações de embarque de minério de ferro no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM, em São Luís/MA. O estudo foi realizado a partir da análise dos dados pluviométricos, coletados no período de 2013 ao primeiro semestre de 2019, os quais foram correlacionados com a variável climatológica da região, por meio de análise estatística descritiva e teste de correlação, para avaliação dos resultados. Tal análise permitiu determinar as variáveis causadoras dos prejuízos operacionais no processo de embarque face aos eventos extremos de chuva. Possibilitou ainda a mensuração das perdas econômicas decorrentes dessas paradas por mau tempo. Ao final da pesquisa, constatou-se que os eventos de alto índice pluviométrico na região geram um impacto significativo na perda de volume embarcado versus o volume programado, resultando numa perda financeira significativa, em função das horas paradas, seja por falhas nas previsões meteorológicas, seja pelas paradas ocasionadas por chuva. Tais resultados redirecionarão o alinhamento estratégico da empresa e as tomadas de decisão, na corrida para a implementação de medidas preventivas e de adaptação no processo. Diante dos resultados e constatação do impacto pluviométrico no processo, sugeriu-se a modernização do sistema, com a aquisição de Radar Meteorológico Banda X (polarização dupla) para realização do monitoramento em tempo real dos eventos, o que reduzirá as paradas desnecessárias por falhas nas previsões meteorológicas e otimizará a atividade do embarque e minério de ferro em Ponta da Madeira.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 – Foto e Mapa de localização do Terminal Marítimo de Ponta Madeira, em São Luís no litoral norte do estado do Maranhão.....	8
Figura 2 - Corredor Norte da Vale entre os estados do Pará (PA) e Maranhão (MA), com a integração da Mina/Ferrovia EFC/Porto TMPM.....	9
Figura 3 - Visão geral e layout do TMPM e processos operacionais.....	10
Figura 4 - Mapa da região de São Luís/MA com a localização das estações com dados de precipitação no TMPM (losango) e INMET (círculo).....	11
Figura 5 - Dados mensais de precipitação registrados nas estações do INMET (1988 a 2019) e no PORTO VALE (2012 a 2019) em São Luís/MA.....	15
Figura 6 - Diagrama de dispersão entre os dados mensais de precipitação do INMET e PORTO VALE em São Luís/MA nos anos de 2012 a 2019.....	16
Figura 7 - Climatologia mensal de precipitação do INMET em São Luís/MA correspondente ao período de 1988 a 2018.	17
Figura 8 - Precipitação registrada no PORTO VALE e Paradas operacionais de embarque de minério no TMPM, sendo A: meses de janeiro a dezembro, B: regime chuvoso – meses de janeiro a junho e C: regime seco – meses de julho a dezembro.	18
Figura 9 - Diagrama de dispersão entre os dados de precipitação no PORTO VALE e as Paradas no embarque de minério de ferro no TMPM considerando todos meses (janeiro a dezembro), regime chuvoso (janeiro a junho) e regime seco (julho a dezembro).	19
Figura 10 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TMPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes chuvosos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de janeiro a junho); B: Diagrama de dispersão do regime chuvoso.....	20
Figura 11 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TMPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes secos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de julho a dezembro); B: Diagrama de dispersão do regime seco	20
Figura 12 - Valores mensais e respectivos percentuais dos dados de precipitação, embarque nos navios, paradas no sistema de embarque, perda no embarque e estimativa da perda econômica no TMPM. Dados médios no período 2013 a 2018.	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das correlações, p-valor e R2 entre os dados de precipitação do PORTO VALE e as paradas de embarque de minério de ferro no TPM.	19
Tabela 2 - Valores mensais (média 2013 a 2018) das paradas no embarque, volume de minério embarcado nos navios e precipitação no TPM, bem como das estimativas da perda no embarque em Ton de minério de ferro e da perda econômica.	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	MATERIAL E MÉTODO	8
2.1	ÁREA DE ESTUDO	8
2.2	DADOS.....	11
2.3	METODOLOGIA.....	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM SÃO LUÍS E REGIMES SAZONAIS DO PERÍODO CHUVOSO E SECO	15
3.2	ANÁLISE DAS PERDAS ECONÔMICAS	20
3	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

A Vale é uma grande empresa no ramo da mineração no Brasil. Suas atividades operacionais complexas são predominantemente a céu aberto, sendo esse um cenário de desafio diário nas estações chuvosas, levando-a a adotar um planejamento estratégico integrado ao longo de toda a sua cadeia produtiva (Mina, Ferrovia e Porto) para minimizar os impactos dos fenômenos meteorológicos e climatológicos onde atua.

Diante dessa problemática, o Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TMPM, localizado na região costeira de São Luís, no estado do Maranhão, possui localização estratégica e capacidade de embarque de aproximadamente 230Mtpa (milhões de toneladas/ano), assumindo uma posição de destaque no processo de embarque de minério de ferro no mundo.

Corroborando nesse sentido, o presente estudo vem propor a (i) caracterização da variável climatológica na região costeira do Maranhão, bem como (ii) identificação dos impactos causados pelos eventos extremos de precipitação pluviométrica, de curta ou de longa duração no Terminal de Ponta da Madeira, em São Luís/MA, bem como a (iii) mensuração das perdas econômicas em decorrência das paradas dessa atividade no período chuvoso.

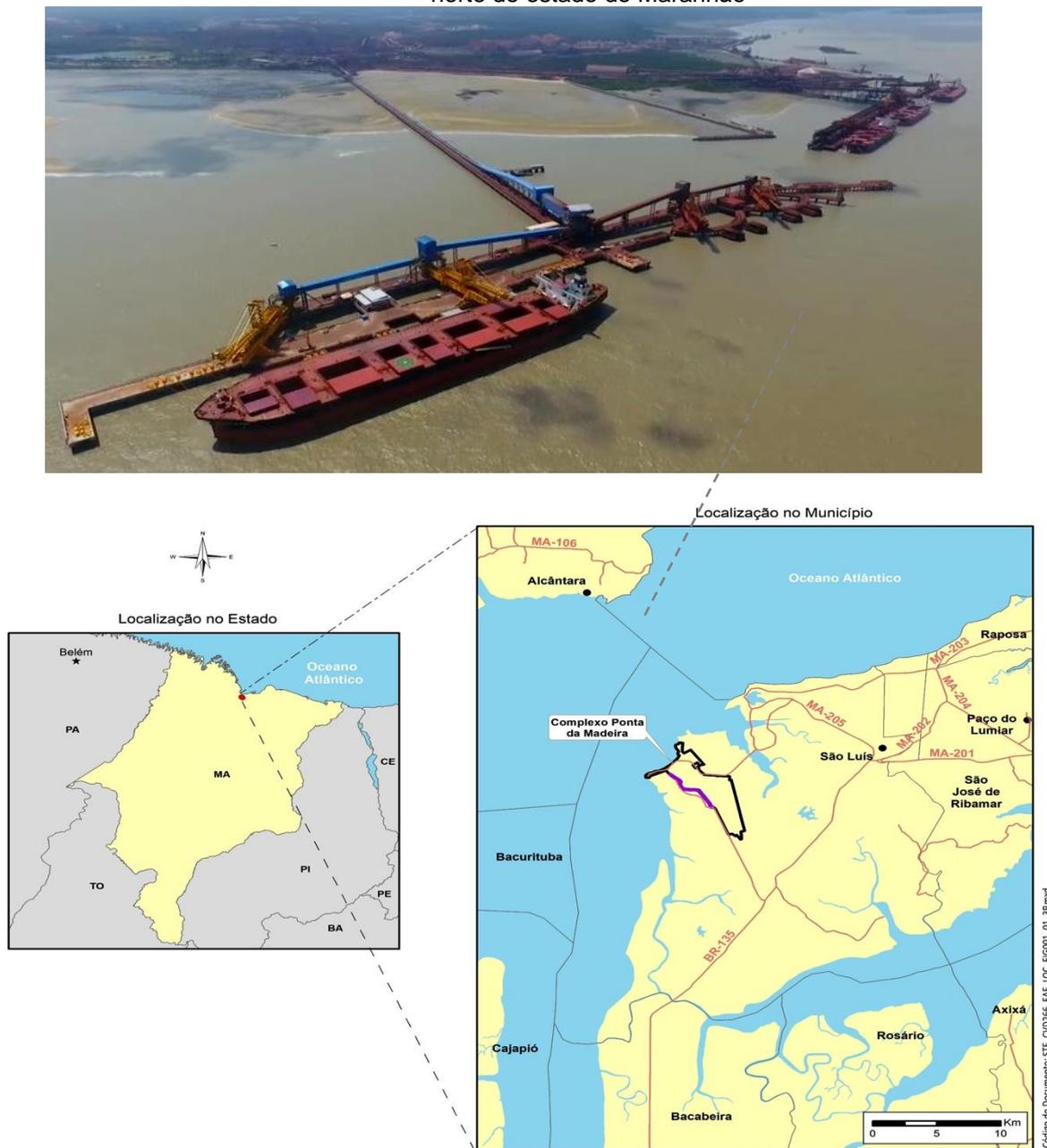
Por fim, essa pesquisa científica permitirá a compreensão dos efeitos adversos do mau tempo nas paradas do embarque de minério no TMPM, assim como permitirá a adoção de medidas mitigadoras e de adaptação na minimização dos impactos no embarque.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (TMPM), pertencente à VALE, está estrategicamente localizado na costa norte do Brasil, no módulo H do Distrito Industrial, a margem leste da Baía de São Marcos, na porção noroeste da Ilha de São Luís, distando cerca de oito quilômetros do centro da cidade de São Luís, no estado do Maranhão, conforme ilustra a **Figura 1** .

Figura 1 - Foto e Mapa de localização do Terminal Marítimo de Ponta Madeira, em São Luís no litoral norte do estado do Maranhão



Fonte: adaptado de Vale – SETE, (2018).

No âmbito do Corredor Norte da Vale (**Figura 2**), entre os estados do Pará e Maranhão, o minério de ferro de Carajás (sudeste do Pará) é transportado por um sistema que integra as minas, ferrovia e porto. Todo o minério que vem de Carajás é transportado via Estrada de Ferro Carajás (EFC) que possui cerca de 892 quilômetros percorridos até chegar ao TPM, onde o minério é embarcado para vários países no mundo. Atualmente o Corredor Norte é considerado o principal sistema de produção da Vale, em volume e projeção de crescimento da cadeia de ferrosos.

Figura 2 - Corredor Norte da Vale entre os estados do Pará (PA) e Maranhão (MA), com a integração da Mina/Ferrovia EFC/Porto TPM



Fonte: Vale, (2018).

A **Figura 3** apresenta uma visão geral e layout atual do TPM, ocupando uma área de aproximadamente 1.936 hectares, que é composto por viradores de vagões, píeres (píeres I, III e IV), linhas de embarque, pátios de estocagem e demais instalações portuárias.

O processo produtivo no TPM se inicia com o descarregamento do minério nos viradores de vagões, onde termina a ferrovia e se inicia a operação portuária. O minério após ser descarregado nos viradores de vagões é movimentado por um sistema de correias transportadoras até os pátios de estocagem, onde o minério fica armazenado temporariamente para depois ser recuperado e transportado até o embarque nos píeres.

A área de estocagem é formada por 15 pátios de minério, onde são estocados minério de ferro e manganês, sendo o *sinter feed* o produto em maior estoque.

A operação de recuperação se destina a recolher o minério estocado nos pátios e transportá-los via correias transportadoras até o carregador de navios, onde o minério é escoado para vários continentes do mundo.

O embarque é realizado nos píeres I, III e IV. O píer I possui berço de 490 metros de extensão e embarca navios de até 420.000 toneladas, a uma taxa de carregamento de 16.000t/h. O píer III, com extensão do berço de 655 metros, embarca navios de até 250.000 toneladas e opera a uma taxa de carregamento de 24.000t/h. O píer IV, com extensão do berço de 1.000 metros, embarca navios de até 450.000t/h a uma taxa de carregamento de 16.000t/h.

Figura 3 - Visão geral e layout do TPM e processos operacionais



Fonte: VALE, (20??).

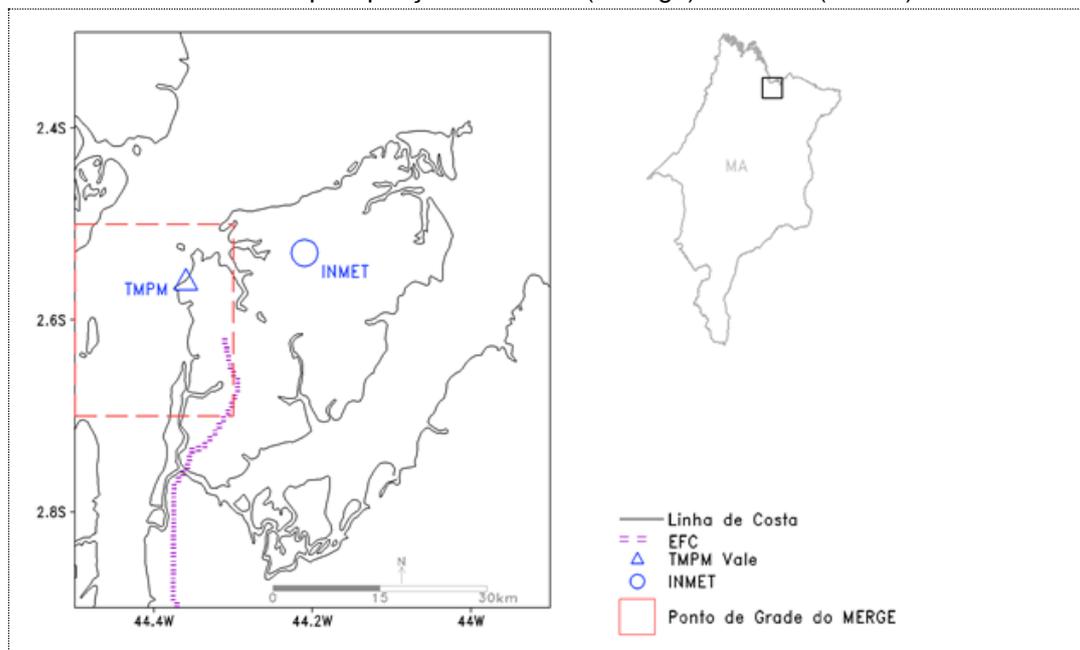
2.2 DADOS

▪ Dados de precipitação em São Luís/MA:

Os dados de precipitação de São Luís foram extraídos de duas fontes diferentes, conforme descrições abaixo e indicações no mapa da **Figura 4**:

- Dados mensais de precipitação da estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na área urbana de São Luís na posição geográfica de latitude -2.53 e longitude -44.21 (indicado pelo círculo na **Erro! Fonte de referência não encontrada.9**) para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2018 (amostra com 20 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019;
- Dados diários de precipitação do pluviômetro pertencente a Vale que se localiza na área de embarque do TMPM na posição de latitude -2.56 e longitude -44.36 (indicado pelo losango na Figura 9) para o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2018 (série temporal de 06 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019.

Figura 4 - Mapa da região de São Luís/MA com a localização das estações com dados de precipitação no TMPM (losango) e INMET (círculo).



Fonte: próprio autor, (2019).

- **Dados de operações do TMPM - Vale:**

Os dados cedidos pela Diretoria de Operação do Porto da Vale referem-se a duas informações específicas das atividades operacionais de embarque de minério de ferro no TMPM:

- As paradas (em unidade de horas por mês) das operações de embarque de minério de ferro nos navios, as quais foram reportadas devido mau tempo, ou seja, a ocorrência de precipitação na região do porto, no período de janeiro de 2013 a dezembro de 2018 (série temporal de 06 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019.
- A quantidade (em unidade de tonelada por mês) de minério de ferro embarcado nos navios no período de janeiro de 2009 a dezembro 2018 (série temporal de 09 anos de dados) e mais os meses de janeiro a junho de 2019.

2.3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para atingir os objetivos específicos propostos neste trabalho são mencionados abaixo.

- **Caracterização da sazonalidade pluviométrica:**

Como os dados de precipitação da estação TMPM encontram-se disponíveis somente a partir 2012, então, utiliza-se a série temporal de 30 anos de dados da estação meteorológica do INMET para fazer a caracterização climatológica da pluviometria em São Luis. Para isso, foram calculadas as médias mensais (ou médias climatológicas) de precipitação para cada mês entre os anos de 1988 a 2018, conforme equação abaixo:

$$\overline{PREC}_m = \frac{\sum_{i=1988}^{i=2018} PREC_m}{n}$$

Sendo \overline{PREC}_m a média climatológica de precipitação, $PREC_m$ a precipitação mensal num determinado mês m , com $m =$ janeiro, fevereiro, ..., dezembro e n é o tamanho da amostra, i.e., $n = 31$ anos, sendo i variando de 1988 até 2018.

Também calculou-se a média mensal de precipitação \bar{X} de toda a série de dados, i.e., janeiro de 1988 até dezembro de 2018 (série completa).

De posse dos valores das médias climatológicas mensais \overline{PREC}_m em cada mês e da média \bar{X} de toda a série de dados, estabeleceu-se o critério para delimitar e identificar os regimes sazonais chuvoso e seco ao longo do ciclo pluviométrico anual. Os meses que apresentaram \overline{PREC}_m acima de \bar{X} foram definidos como os meses de ocorrência do regime chuvoso, enquanto que meses que apresentaram \overline{PREC}_m abaixo de \bar{X} foram considerados como os meses do regime seco. Após a definição dos meses de ocorrência dos regimes sazonais, foram calculadas as médias de precipitação da estação da Vale no TMPM e também das paradas no embarque de minério no TMPM nos períodos chuvoso e seco dos anos de 2013 a 2018.

- **Relação entre precipitação e as paradas de embarque no TMPM:**

Foram plotados e analisados os gráficos contendo os valores das paradas (em horas) do processo de embarque de minério no TMPM juntamente com os totais mensais de precipitação registrados na estação meteorológica da Vale no TMPM entre os anos de 2013 a 2018 e mais o primeiro semestre de 2019. Também foram analisados os gráficos de dispersão (scatterplot) entre os pares de dados (paradas no embarque no eixo x e a precipitação no eixo y) com as respectivas linhas de tendência e cálculo do coeficiente de determinação R^2 como forma de avaliar as relações entre as duas variáveis.

A associação ou relação em termos quantitativos entre os dados mensais de precipitação (PREC) e paradas de embarque (PARA) foi avaliada através do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson ρ , dado pela equação abaixo:

$$\rho = \frac{\sum_{i=2013}^{i=2019} (PREC_i - \overline{PREC}) (PARA_i - \overline{PARA})}{\sqrt{\sum_{i=2013}^{i=2019} (PREC_i - \overline{PREC})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=2013}^{i=2019} (PARA_i - \overline{PARA})^2}}$$

Sendo $PREC$ os dados de precipitação na estação da Vale no TMPM e $PARA$ os dados das paradas de embarque de minério no TMPM. A correlação de Pearson

foi calculada para cada regime sazonal chuvoso e seco. O resultado de ρ próximo de zero significa que não há relação entre as duas variáveis. Valores de ρ próximo de +1 ou -1 significam que há interdependência linear positiva ou negativa, respectivamente, entre as duas variáveis.

▪ **Perdas econômicas decorrentes das paradas de embarque no TMPM:**

A estimativa das perdas decorrentes das paradas operacionais de embarque de minério de ferro no TMPM foi feita com base nos dados mensais de 2013 a 2018. Foi necessário adquirir os dados da quantidade de minério embarcado (QE) nos navios da Vale no TMPM. Calcularam-se as médias mensais de QE de 2013 a 2018, sendo que o resultado em Ton/mês foi convertido para Ton/hora. Em seguida, de posse das médias das paradas no embarque (PARA) em horas, estimou-se a perda em unidade de Ton de minério de ferro através da multiplicação de QE x PARA.

Exemplificando para o mês de março (regime chuvoso):

A média de QE é de 11.171.227 Ton/mês ou 15.015 Ton/hora;

A média de PARA é de 104 horas;

Portanto, a perda é de 1.563.697 Ton.

Outro exemplo para o mês de outubro no regime seco:

A média de QE é de 13.578.280 Ton/mês ou 18.250 Ton/hora;

A média de PARA é de 2 horas;

Portanto, a perda é de 45.443 Ton.

Também foi estimado a perda em termos monetários (unidade de moeda em dólar americano US\$), sendo que foi definido o valor da tonelada de minério de ferro com o preço de US\$ 70,00. Assim sendo, a multiplicação da perda em Ton (calculada no parágrafo acima) com o preço da tonelada de minério resulta na perda em US\$ em cada mês. Usando os valores acima, temos que:

No mês de março, a perda de 1.563.697 Ton x US\$ 70,00 resulta numa perda de \$109.458.759,00

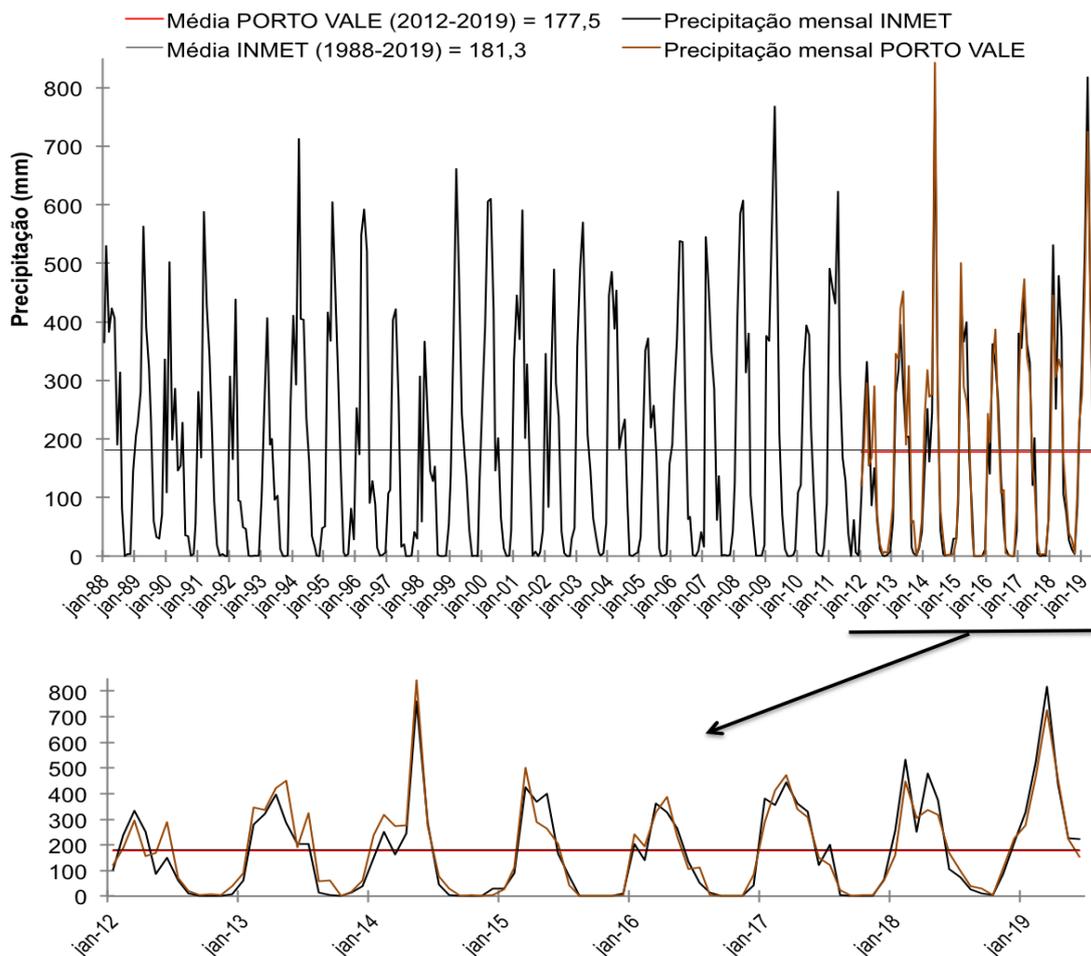
No mês de outubro, a perda de 45.443 Ton x US\$ 70,00 resulta numa perda de \$3.181.041,00

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM SÃO LUÍS E REGIMES SAZONAIS DO PERÍODO CHUVOSO E SECO

A **Figura 5** mostra os dados mensais de precipitação do INMET (30 anos, 1988 a 2019) e do PORTO VALE (2012 a 2019) na região de São Luís, na qual notam-se grandes variações pluviométricas ao longo dos anos. As médias do INMET e do PORTO são de 181,3 e 177,5 mm, respectivamente. Analisando o período temporal comum a ambos dados (parte inferior da Figura 10), nota-se similaridade alta nas variações mensais de precipitação da parte central da cidade e na região do porto da Vale.

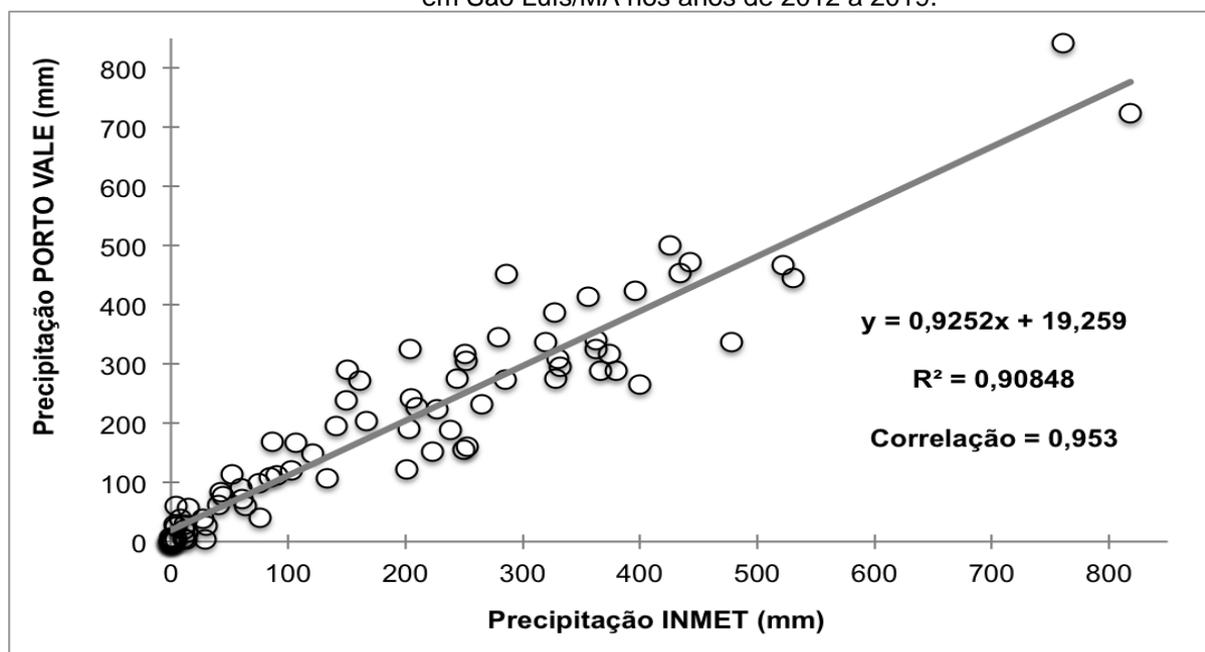
Figura 5 - Dados mensais de precipitação registrados nas estações do INMET (1988 a 2019) e no PORTO VALE (2012 a 2019) em São Luís/MA



Fonte: próprio autor, (2019).

A **Figura 6** mostra o diagrama de dispersão entre as duas séries de dados de 2012 a 2019, com valores significantes do coeficiente de determinação (R^2) de 0,90 e correlação de 95%, cujos resultados comprovam a existência de consistência alta entre os dados do INMET e do PORTO VALE.

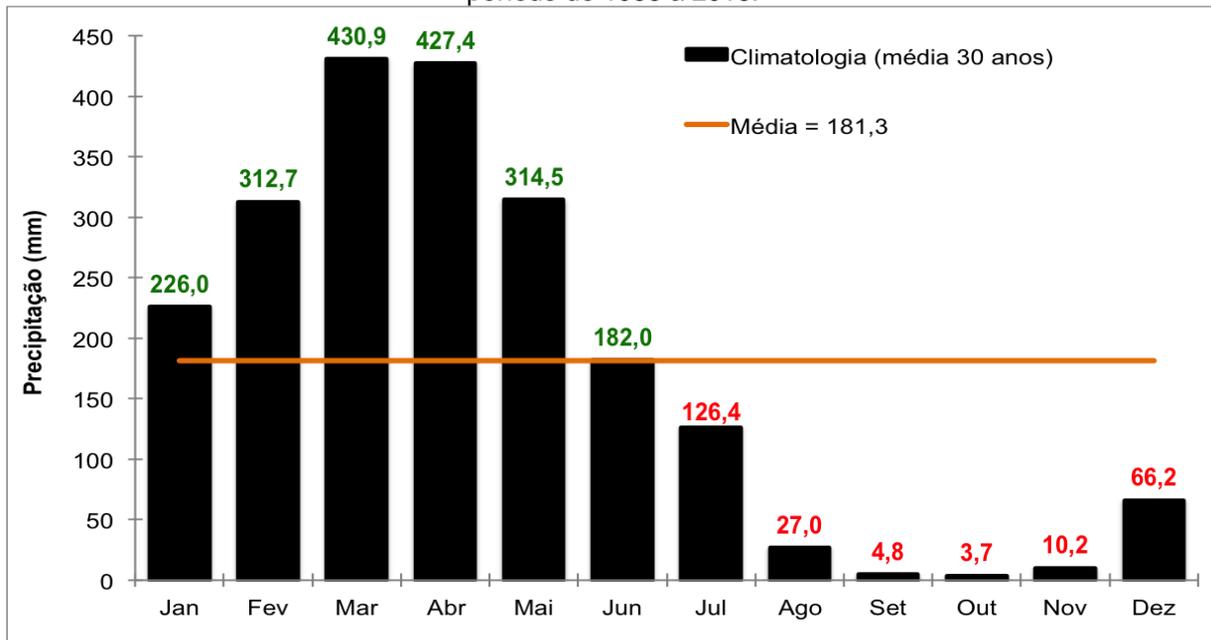
Figura 6 - Diagrama de dispersão entre os dados mensais de precipitação do INMET e PORTO VALE em São Luís/MA nos anos de 2012 a 2019.



Fonte: próprio autor, (2019).

A determinação dos regimes sazonais do período chuvoso e período seco é feita com base na série de precipitação do INMET que compreende 31 anos de dados, conforme recomendação internacional preconizada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). A Figura 7 mostra a climatologia mensal da precipitação (média 1988 a 2018) do INMET em São Luís. O valor da média mensal obtida para a série completa (janeiro a dezembro dos 31 anos) foi de 181,3 mm. Considera-se como regime chuvoso os meses com chuva climatológica acima dessa média (meses de janeiro a junho) e o regime seco os meses abaixo da média (julho a dezembro). No regime chuvoso os meses de março e abril apresentam os valores máximos ao longo do ano, com 430 e 427 mm, respectivamente. No regime seco, os meses com valores mínimos anuais ocorrem em setembro e outubro, com 4,8 e 3,7 mm.

Figura 7 - Climatologia mensal de precipitação do INMET em São Luís/MA correspondente ao período de 1988 a 2018.



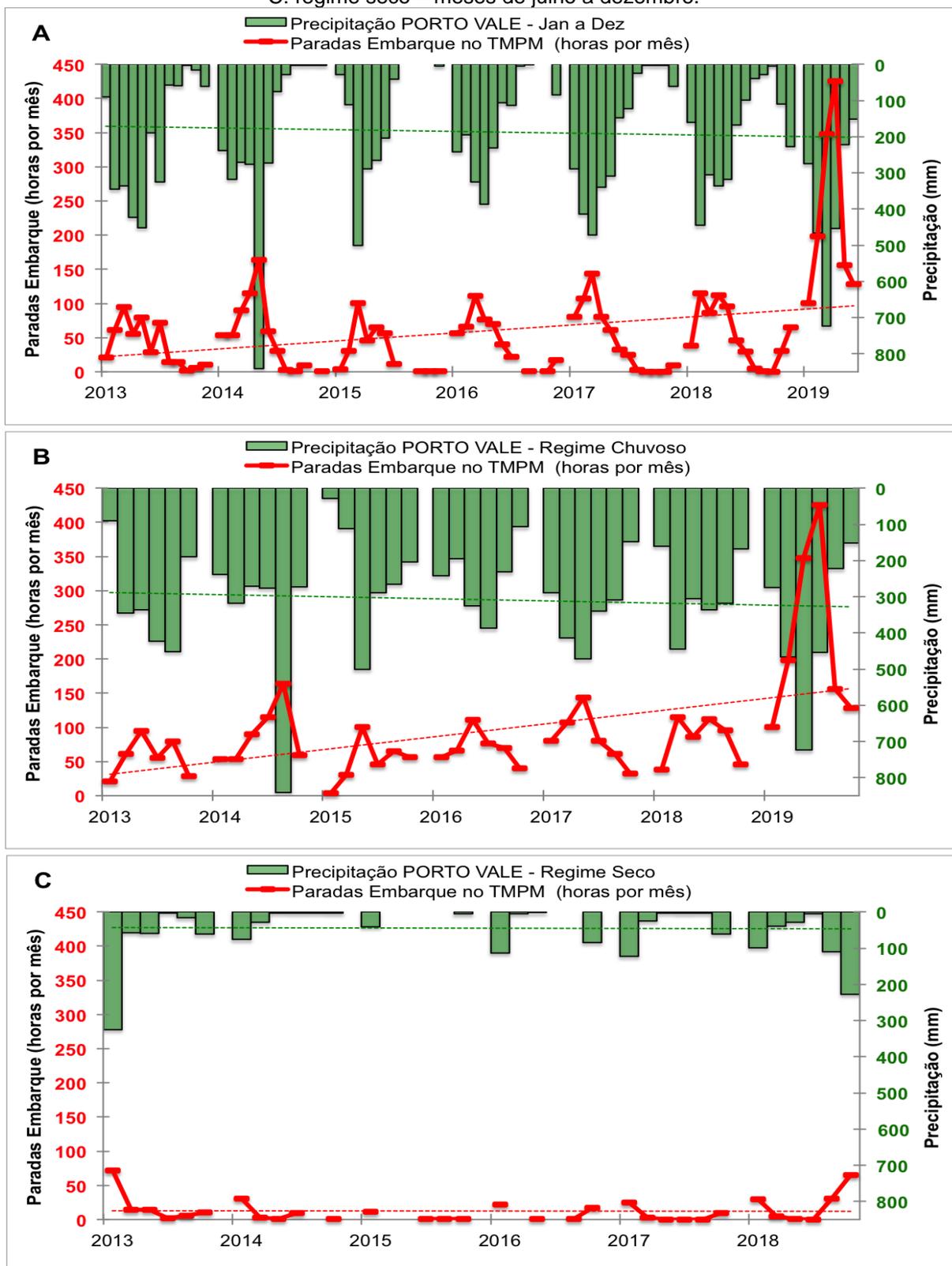
Fonte: próprio autor, (2019).

- **Paradas operacionais no embarque de minério e o regime pluviométrico**

A Figura 8 mostra os valores mensais nos anos de 2013 a 2019 das paradas operacionais, em horas por mês, do processo de embarque de minério de ferro no TPM (linhas em vermelho) conjuntamente com a precipitação registrada na estação PORTO VALE (barras em verde). Na Figura 13A percebe-se claramente que o número de horas paradas varia diretamente com o acumulado mensal da chuva no porto, tal que basicamente os meses com maior volume pluviométrico são coincidentes com o maior tempo de parada no embarque. Analisando as variações de 2013 a 2019, nota-se uma tendência positiva de aumento das horas paradas, sendo que o ano de 2019 foi muito atípico, com recordes nos meses de março e abril que registraram um total de 347 e 425 horas, respectivamente. Essas horas representam em torno de 14 dias em março e cerca de 17 dias em abril de 2019 com as operações de embarque paradas.

A Figura 13B apresenta somente os meses do regime chuvoso (janeiro a junho) e a Figura 13C os meses do regime seco (julho a dezembro), nas quais constata-se as variações das paradas no embarque oscilando em fase com a ocorrência de precipitação ao longo dos meses.

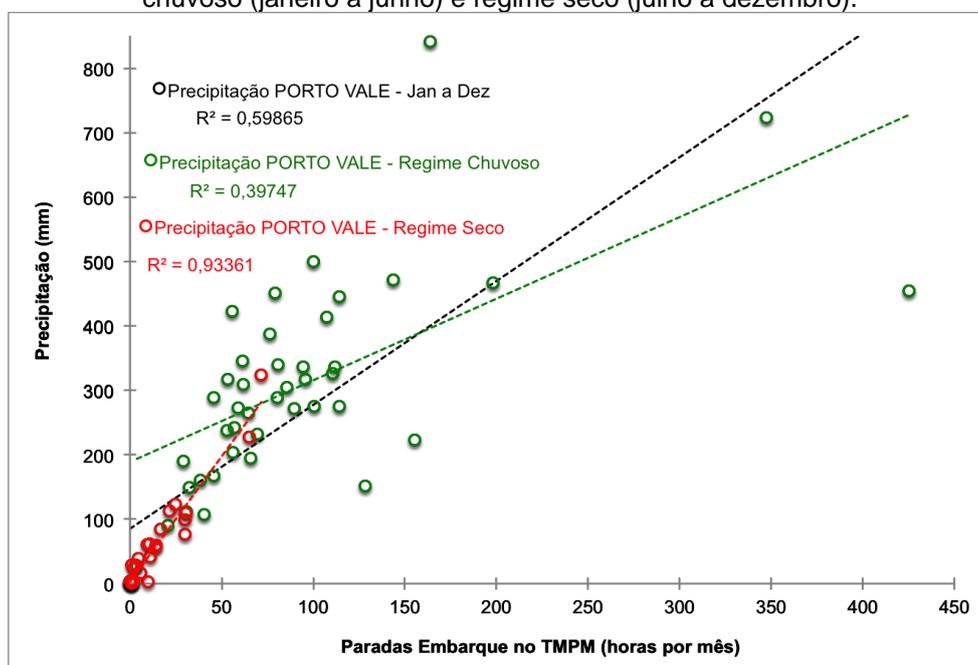
Figura 8 - Precipitação registrada no PORTO VALE e Paradas operacionais de embarque de minério no TPM, sendo A: meses de janeiro a dezembro, B: regime chuvoso – meses de janeiro a junho e C: regime seco – meses de julho a dezembro.



Fonte: próprio autor, (2019).

A demonstração quantitativa das relações consistentes entre as paradas no embarque de minério de ferro no TMPM e a precipitação no porto é feita com base no diagrama de dispersão da **Figura 9** e nas correlações da **Tabela 1**. Observa-se na **Figura 9** a relação positiva e direta entre os dados, ou seja, os valores mais altos (mais baixos) de horas paradas no processo de embarque ocorre nos meses com maior (menor) acumulação de chuva na região. As correlações (**Tabela 1**) entre os dados de paradas no embarque e a precipitação indicam resultados significantes, com valores de 0,77 considerando os dados completos (janeiro a dezembro de todos os anos), 0,63 nos meses do regime chuvoso e 0,97 nos meses do regime seco.

Figura 9 - Diagrama de dispersão entre os dados de precipitação no PORTO VALE e as Paradas no embarque de minério de ferro no TMPM considerando todos meses (janeiro a dezembro), regime chuvoso (janeiro a junho) e regime seco (julho a dezembro).



Fonte: próprio autor, (2019).

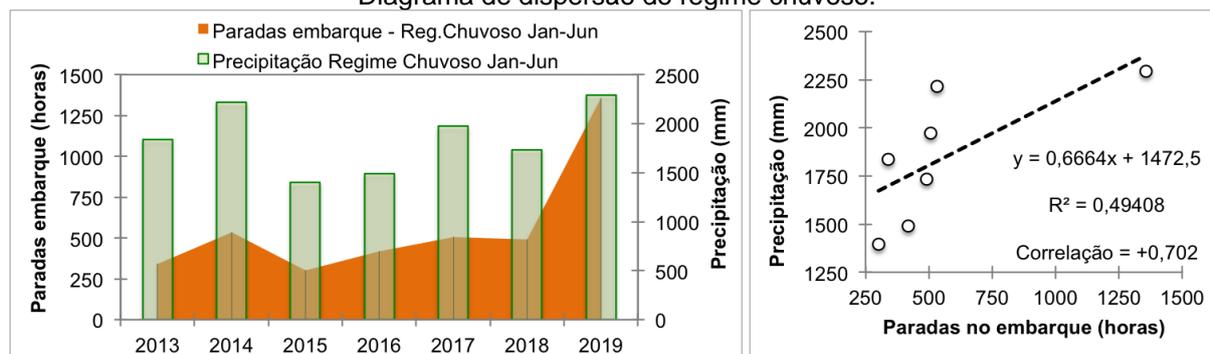
Tabela 1 - Valores das correlações, p-valor e R2 entre os dados de precipitação do PORTO VALE e as paradas de embarque de minério de ferro no TMPM.

	Correlação	p-valor	R ²
Série completa (janeiro a dezembro)	0,774	< 0,0001	0,599
Regime Chuvoso (janeiro a junho)	0,630	< 0,0005	0,397
Regime Seco (julho a dezembro)	0,966	< 0,0001	0,934

Fonte: próprio autor, (2019).

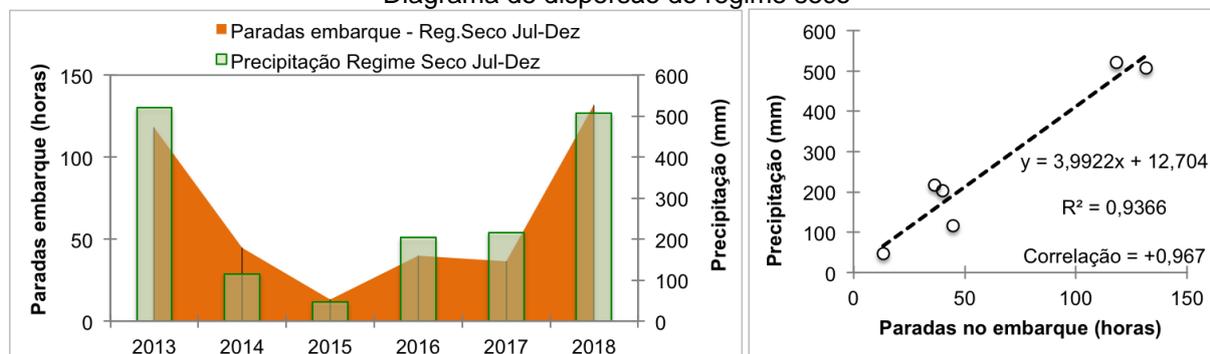
As Figuras Figura 10 Figura 11 mostram os totais acumulados de paradas no embarque e a precipitação nos regimes chuvoso e seco, respectivamente. Novamente, percebe-se claramente a correspondência alta entre esses dados, demonstrando o efeito dos eventos de chuva nas operações do TMPM.

Figura 10 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TMPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes chuvosos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de janeiro a junho); **B:** Diagrama de dispersão do regime chuvoso.



Fonte: próprio autor, (2019)

Figura 11 - A: Dados sazonais das paradas no embarque de minério no TMPM e precipitação no PORTO VALE nos regimes secos de 2013 a 2019 (acumulado nos meses de julho a dezembro); **B:** Diagrama de dispersão do regime seco



Fonte: próprio autor, (2019).

3.2 ANÁLISE DAS PERDAS ECONÔMICAS

A análise integrada dos dados considerando a média dos anos de 2013 a 2018 é feita com base nos valores da

Tabela 2. Os dados de 2019 foram desconsiderados por ter sido um ano muito atípico. Inclui-se nesta Tabela os dados médios do volume em toneladas (Ton/mês) de minério de ferro embarcado nos navios da Vale. Os valores de embarque em Ton/mês foram convertidos para Ton/horas e então foi multiplicado pelo valor das paradas em horas, com a finalidade de se estimar qual a perda em Ton de minério de ferro que deixou de ser embarcado por causa de mau tempo (evento de

precipitação). Esta perda em Ton foi multiplicada pelo preço do minério de ferro no mercado internacional (considera-se US\$ 70,00 a Ton de minério de ferro) e então estima-se a perda econômica no TMPM, conforme mostra

Tabela 2. A Figura 12 mostra de forma gráfica os resultados da

Tabela 2 com os valores mensais e respectivos percentuais dos dados de precipitação, embarque nos navios, paradas no sistema de embarque, perda no embarque e estimativa da perda econômica no TMPM. Ressalta-se que os dados correspondem a média no período 2013 a 2018.

Na

Tabela 2 é possível observar que variabilidade pluviométrica mensal possui uma relação direta, tanto com o embarque, quanto com as paradas de embarque de minério nos navios no TMPM. Entre os meses de fevereiro e maio, a média do acumulado pluviométrico mensal ultrapassou os 300 mm, com valor máximo no mês de março, com quase 400 mm. Se somado a janeiro, tais meses correspondem ao período em que foi embarcada menor quantidade de minério nos navios e com mais horas de paradas. Por outro lado, o período seco no TMPM, onde a precipitação acumulada é inferior a 100 mm, ocorre entre os meses de agosto e dezembro. Neste período as paradas de embarque são poucas, em geral inferiores a 10h por mês, e o embarque de minério nos navios é superior ao período chuvoso na ordem de duas a quatro milhões de toneladas por mês.

Sob o ponto de vista percentual, a Figura 12 evidencia graficamente que os maiores percentuais de precipitação são observados durante os primeiros cinco meses do ano, sendo 10% em janeiro, 17% em fevereiro, 19% em março e abril e 18% em maio, totalizando 83% da precipitação anual. Em consequência dessa concentração da precipitação, os menores percentuais de embarque nos navios (7% a 8%) e os maiores percentuais de paralizações mensais (entre 14% e 18%) ocorrem entre fevereiro e maio. Esses resultados são refletidos em perdas de embarque de minério nos navios. Entre fevereiro e maio, os prejuízos são superiores a 1 milhão de toneladas por mês, com maiores perdas em março, cujo total mensal de minério não embarcado corresponde a 20% do total anual de perdas. Transformando a quantidade de minério não embarcado em perdas financeiras, a Vale deixaria de embarcar cerca de 356 milhões de dólares (quase um bilhão e meio de reais atualmente) entre os meses de fevereiro e maio. Mesmo no período seco, a

economia seria de quase cinquenta milhões de dólares, caso o embarque seja otimizado diante da ocorrência de eventos chuvosos.

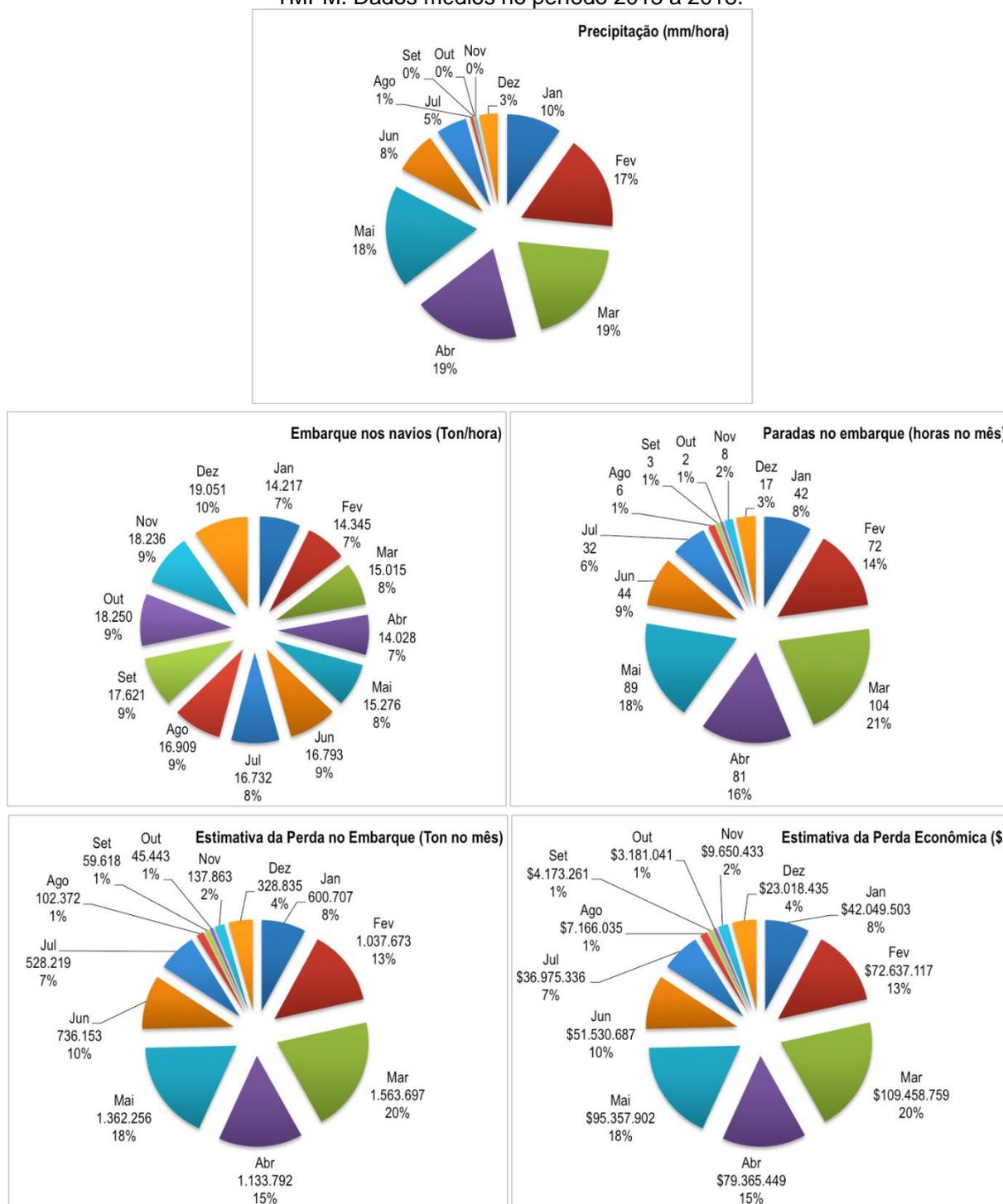
Invariavelmente, atividades operacionais de embarque de minério nos porões dos navios serão interrompidas devido ao mau tempo, uma vez que a precipitação não pode ser inibida ou evitada. Contudo, o processo de parada das esteiras, máquinas e deslocamento de empregados para outras atividades pode ser otimizado, assim como o reinício do sistema de embarque de minérios nos navios, caso haja uma ferramenta de auxílio aos tomadores de decisões, que seja capaz de informar o estado atual da evolução de sistemas atmosféricos precipitantes na área do TPM. Para este caso, sugere-se o uso de radares meteorológicos banda X, que representam o estado-da-arte em monitoramento e nowcasting meteorológico e sensores de campo elétrico instalados estrategicamente para evitar a exposição de empregados e máquinas a eventos atmosféricos danosos, evitar o acúmulo de água precipitada no interior dos porões dos navios e aumentar o tempo de embarque de minério nos navios no TPM.

Tabela 2 - Valores mensais (média 2013 a 2018) das paradas no embarque, volume de minério embarcado nos navios e precipitação no TPM, bem como das estimativas da perda no embarque em Ton de minério de ferro e da perda econômica.

	Precipitação (mm/mês)	Precipitação (mm/hora)	Embarque nos navios (Ton/mês)	Embarque nos navios (Ton/hora)	Paradas no embarque (horas no mês)	Estimativa da Perda no Embarque (Ton no mês)	Estimativa da Perda Econômica (\$)	Preço Ton minério de ferro (US\$)
Jan	193,2	0,260	10.577.438	14.217	42	600.707	\$42.049.503	\$70,00
Fev	302,2	0,450	9.639.948	14.345	72	1.037.673	\$72.637.117	\$70,00
Mar	383,8	0,516	11.171.227	15.015	104	1.563.697	\$109.458.759	\$70,00
Abr	357,2	0,496	10.099.973	14.028	81	1.133.792	\$79.365.449	\$70,00
Mai	362,6	0,487	11.365.498	15.276	89	1.362.256	\$95.357.902	\$70,00
Jun	144,0	0,200	12.091.171	16.793	44	736.153	\$51.530.687	\$70,00
Jul	108,8	0,146	12.448.588	16.732	32	528.219	\$36.975.336	\$70,00
Ago	10,7	0,014	12.580.545	16.909	6	102.372	\$7.166.035	\$70,00
Set	3,1	0,004	12.687.183	17.621	3	59.618	\$4.173.261	\$70,00
Out	1,4	0,002	13.578.280	18.250	2	45.443	\$3.181.041	\$70,00
Nov	4,2	0,006	13.129.841	18.236	8	137.863	\$9.650.433	\$70,00
Dez	66,2	0,089	14.173.658	19.051	17	328.835	\$23.018.435	\$70,00

Fonte: próprio autor, (2019).

Figura 12 - Valores mensais e respectivos percentuais dos dados de precipitação, embarque nos navios, paradas no sistema de embarque, perda no embarque e estimativa da perda econômica no TMPM. Dados médios no período 2013 a 2018.



Fonte: próprio autor, (2019).

3 CONCLUSÃO

O presente estudo teve como propósito estudar os impactos da chuva no embarque do minério de ferro no Terminal de Ponta da Madeira, em São Luís, por meio da análise da variabilidade climatológica da região costeira, considerando a análise estatística e de correlação dos dados meteorológicos de 2013 ao primeiro semestre de 2019. Além disso, buscou também calcular as perdas financeiras em função das paradas do embarque de minério nesse Terminal em decorrência do mau tempo.

Após análises dessa pesquisa científica, conclui-se que:

- As médias mensais da pluviometria dos últimos 30 anos (181,3 mm), registradas pelo INMET, quando comparadas com as médias mensais dos últimos 8 anos da estação meteorológicas do Porto (177,5 mm), tem alta similaridade nas variações mensais de chuva da parte central da ilha de São Luís e da região costeira de Ponta da Madeira;
- Constatou-se que o volumes mais elevados de chuva ocorrem nos meses de março (430 mm) e abril (427 mm) da estação chuvosa, enquanto que na estação seca os meses de setembro (4,8 mm) e outubro (3,7 mm) apresentam os menores volumes de chuva anuais;
- A pesquisa evidenciou que o número de horas paradas no processo do embarque em Ponta da Madeira varia diretamente com o acúmulo mensal de chuva, ou seja, os meses com maior índice de precipitação coincidem com o maior tempo de paradas no embarque;
- O diagrama de dispersão e as correlações apontam para uma relação positiva e direta entre os dados, ficando claro que os valores mais altos (mais baixos) de horas paradas no embarque acontecem nos meses com maior (menor) acumulação de chuva no TMPM;
- A pesquisa apresenta alta correspondência entre os dados, ficando demonstrado o efeito dos eventos extremos de chuva nas operações do TMPM.
- Convertendo-se a quantidade de minério não embarcado em perdas financeiras, a Vale comprometeu o seu volume de embarque em cerca de 356 milhões de dólares (quase um bilhão e meio de reais atualmente) entre os meses de fevereiro e maio. Considerando o período seco, a economia seria de quase cinquenta milhões de

dólares, caso o embarque seja otimizado diante da ocorrência de chuva.

Por fim e considerando os resultados da pesquisa, fica claro que os eventos extremos de chuva se intensificam na estação chuvosa na costa do Maranhão (janeiro a junho), sugerindo a implementação de medidas de controle dos efeitos negativos das chuvas nas paradas do embarque de minério no TMPM, como estratégia de manter sua posição de importância na cadeia produtiva da mineração no Corredor Norte.

REFERÊNCIAS

SETE SOLUÇÕES E TECNOLOGIA AMBIENTAL. **Relatório de Controle Ambiental e Plano de Controle Ambiental (RCA/PCA) para Ampliação da Bacia de Decantação Leste do Complexo de Ponta da Madeira.** São Luís, MA: 2018.