

Causa da Falha da Barragem da Lagoa do Pirocáua na Mina de Aurizona em 25 de Março de 2021, Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil

Steven H. Emerman, Ph.D., Malach Consulting, LLC, 785 N 200 W, Spanish Fork, Utah 84660, EUA, Tel: 1-801-921-1228, E-mail: SHEmerman@gmail.com

Relatório elaborado a pedido do Conselho Nacional de Direitos Humanos (CNDH)
Apresentado em 12 de agosto de 2021

RESUMO BREVE

Em 25 de março de 2021, a falha da barragem da Lagoa do Pirocáua na mina de Aurizona da Equinox Gold, no estado do Maranhão, nordeste do Brasil, contaminou o abastecimento de água da vila de Aurizona. De acordo com a Equinox Gold e a Agência Nacional de Mineração, a falha foi causada por um evento de precipitação de 10.000 anos. Com base nos registros de precipitação das estações meteorológicas vizinhas, o período de retorno da tempestade foi de menos de um ano. A causa raiz da falha da barragem foi a falta de qualquer inspeção e manutenção.

RESUMO

A falha da barragem da Lagoa do Pirocáua na mina de Aurizona da Equinox Gold, na costa atlântica do estado do Maranhão, nordeste do Brasil, em 25 de março de 2021, às 04h00 locais, contaminou o abastecimento de água da vila de Aurizona, que ainda não foi restaurado. O propósito da barragem de terra de 7 metros de altura era capturar sedimentos das cavas e armazenar água para uso na operação de mineração. De acordo com a Equinox Gold e a Agência Nacional de Mineração (ANM), a falha foi causada pelo galgamento da barragem, que resultou de 426 mm de chuva nos dias 23 e 24 de março, correspondendo a um evento de precipitação de 10.000 anos, com 112,7 mm, 315 mm e 27 mm de chuva em 23, 24 e 25 de março, respectivamente. No entanto, de acordo com mapas de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nenhuma localidade na costa atlântica do estado do Maranhão recebeu mais do que 150 mm de chuva nos dias 24 a 28 de março. Além disso, os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA, que combinam os registros de precipitação da rede do INMET e da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) mostram precipitações totais de 400-450 mm para todo o mês de março de 2021 no sítio da mina de Aurizona, que está bem dentro das normais climatológicas. Os mapas de precipitação do Laboratório de Meteorologia indicam valores de precipitação de 10-15 mm, 25-30 mm e 90-95 mm no local da mina de Aurizona nos dias 23, 24 e 25 de março, respectivamente. As estações meteorológicas vizinhas de Turiaçu (59 quilômetros a sudeste), Tracuateua (128 quilômetros a noroeste) e Capitão Poço (154 quilômetros a sudoeste) receberam chuvas de 48 horas de 41,9 mm, 35,2 mm e 30,8 mm, respectivamente, no período de 23 a 24 de março, correspondendo a períodos de retorno de 0,3 ano, 0,2 ano e 0,5 ano em cada uma das respectivas estações meteorológicas. O evento de precipitação mais extremo em qualquer uma das estações meteorológicas vizinhas foi a precipitação de 48 horas de 131,1 mm em Turiaçu entre 24 e 25 de março, correspondendo a um período de retorno de 2,3 anos. O terremoto mais próximo durante 21 a 25 de março foi um terremoto de magnitude 4,1 na Guiana, 1.606 quilômetros a noroeste, em 24 de março. De acordo com informações da ANM, o

vertedouro da barragem teve problemas identificadas e não foram tomadas medidas corretivas. Além disso, os instrumentos de monitoramento eram inadequados e não havia planos de instalação de novos instrumentos. Ademais, não havia documentos de projeto, nenhuns manuais nem procedimentos formais de monitoramento e inspeção, nenhum plano de ação de emergência e nenhuma apresentação regular de relatórios de inspeção e monitoramento. Finalmente, a barragem nunca recebeu uma Declaração de Condição de Estabilidade. Antes da falha, a existência da barragem não era mencionada em nenhum documento disponível da empresa de mineração. A ANM não forneceu nenhuma evidência de que a barragem tenha falhada por galgamento. A causa proximal da falha também pode ter sido erosão interna ou instabilidade de talude. No entanto, a causa raiz da falha deve ser considerada como negligência sistemática. Uma vez que todos os problemas que existiam com a barragem falhada ainda estão presentes na barragem reconstruída, que é ainda mais baixo do que a barragem falhada, deve-se presumir que o risco de falha é ainda maior no momento atual do que era quando a barragem inicialmente falhou.

ÍNDICE

RESUMO BREVE	1
RESUMO	1
INTRODUÇÃO	2
REVISÃO DAS CAUSAS DE FALHA DE BARRAGENS DE ATERRO	9
HISTÓRIA DA BARRAGEM LAGOA DO PIROCÁUA	12
METODOLOGIA	14
RESULTADOS	16
<i>Comparação com registros de precipitação</i>	16
<i>Comparação com registros sísmicos</i>	34
<i>Evidência de galgamento</i>	34
<i>Perspectivas para mais falha de barragem</i>	35
DISCUSSÃO	36
CONCLUSÕES	38
RECOMENDAÇÕES	39
SOBRE O AUTOR	39
REFERÊNCIAS	39
ANEXO	42

INTRODUÇÃO

Em 25 de março de 2021, às 04:00 hora local, ocorreu a falha da barragem da Lagoa do Pirocáua na mina de Aurizona, na costa atlântica do estado do Maranhão, nordeste do Brasil (Angelo, 2021; Centro de Informação sobre Empresas e Direitos Humanos, 2021) (ver Figs. 1-2). A Equinox Gold é uma empresa de mineração canadense que opera a mina de Aurizona por meio de sua subsidiária integral brasileira Mineração Aurizona S/A (MASA). A falha contaminou a Lagoa Juiz de Fora, que serve de abastecimento de água para os 4.000 habitantes da vila de Aurizona (ver Figs. 3-4). No momento em que este relatório foi escrito, o abastecimento de água da comunidade ainda não havia sido restaurado. A Lagoa do Pirocáua é uma cava esgotada e é usada para capturar e armazenar sedimentos de outras cavas (ver Figs. 3-5). A Lagoa do Pirocáua

também é usada para captar água da bacia hidrográfica para reciclagem na operação de mineração, mas não é usada para armazenamento de rejeitos de mina (ANM, 2021a; Equinox Gold, 2021a). A barragem tinha 7 metros de altura e foi construída com solo (ANM, 2021b).

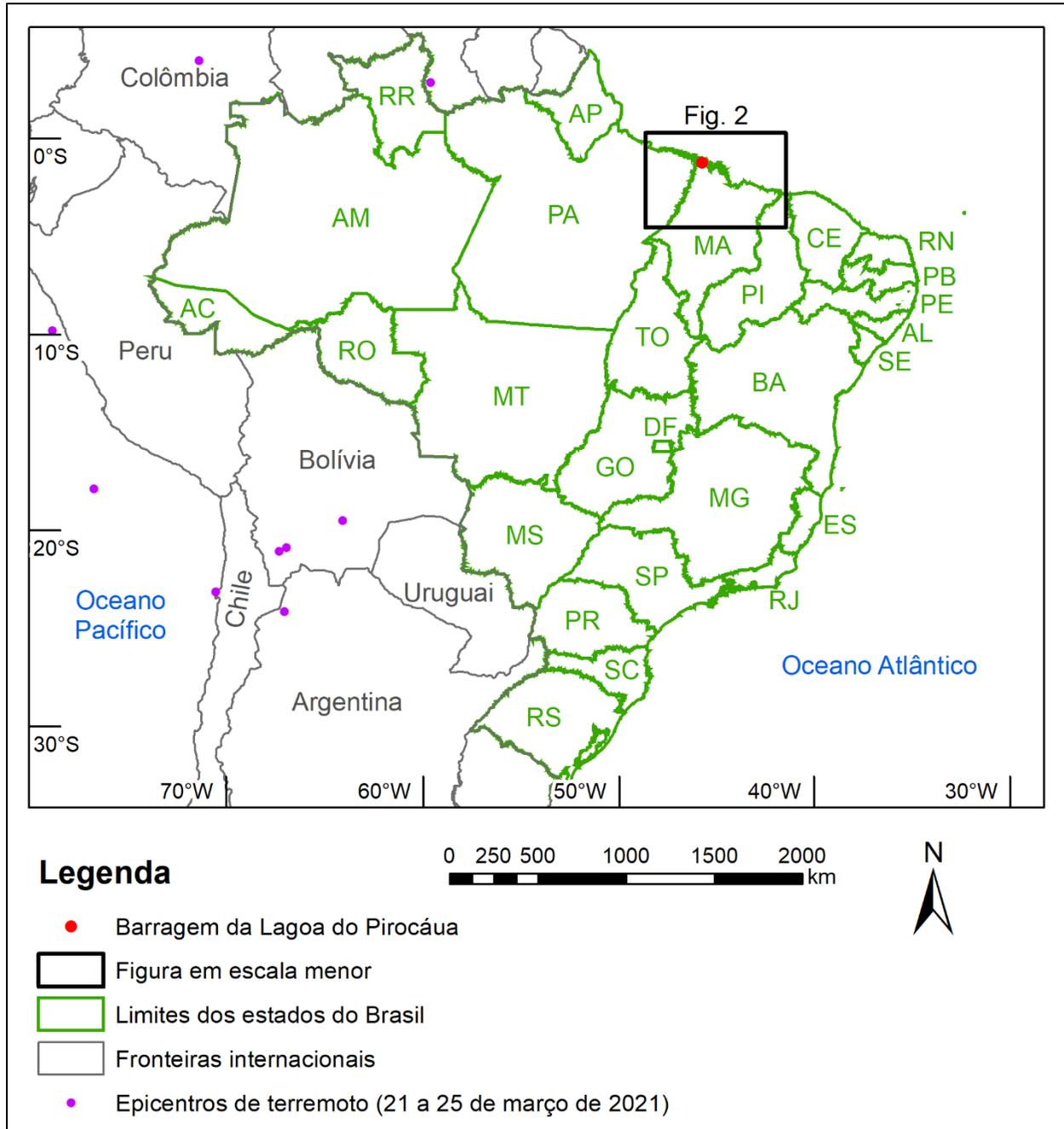


Figura 1. A falha da barragem da Lagoa do Pirocáua na mina de Aurizona, propriedade da empresa de mineração canadense Equinox Gold, contaminou o abastecimento de água da vila de Aurizona. De acordo com a Equinox Gold e a Agência Nacional de Mineração, a falha foi causada pelo galgamento da barragem como resultado dos 426 mm de chuva que caiu durante 23 a 24 de março de 2021, o que constituiu um evento de precipitação de 10.000 anos (evento com uma probabilidade de excedência anual de 0,01%).

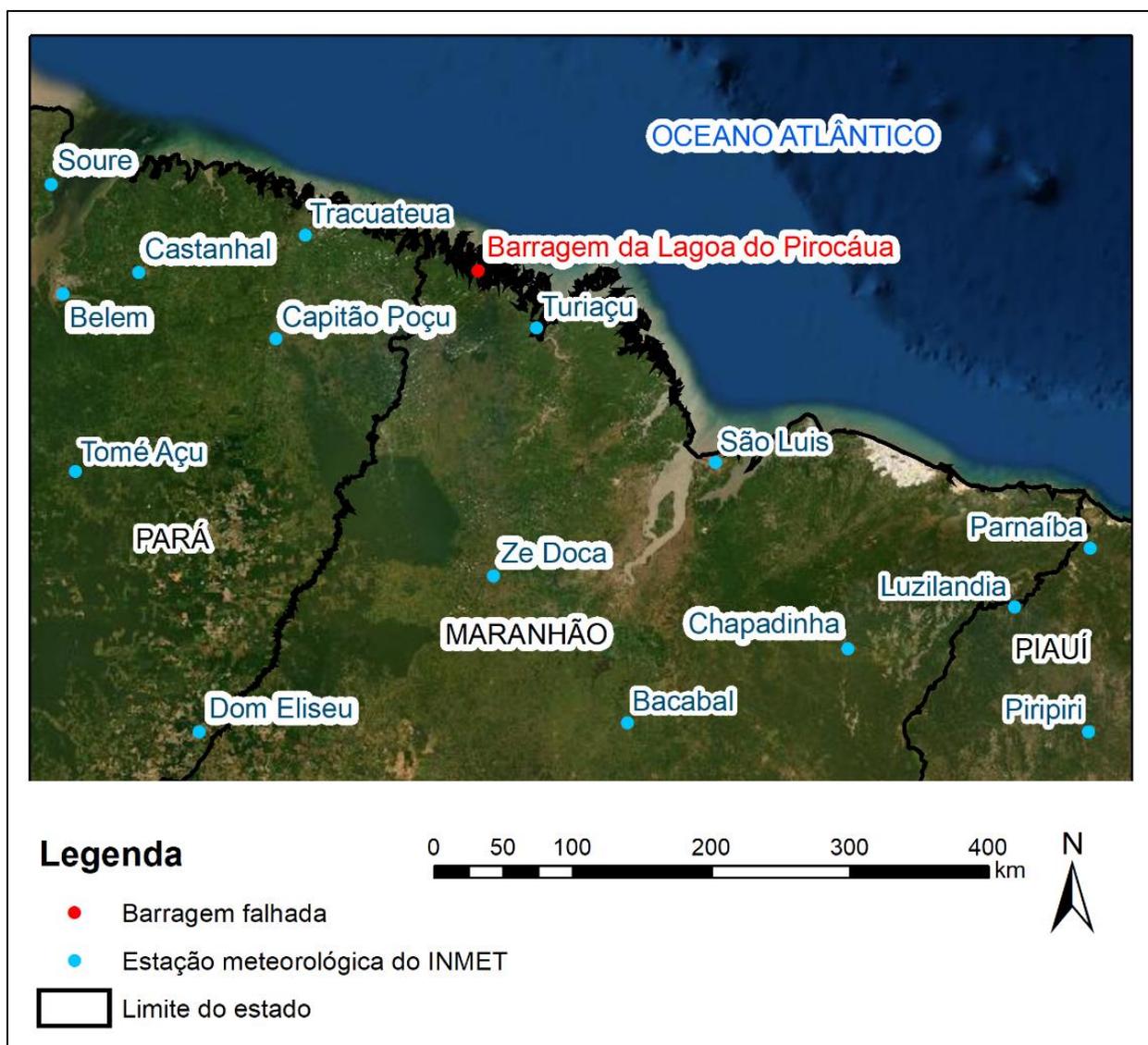


Figura 2. As estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mais próximas da barragem da Lagoa do Pirocáua falhada estão em Turiiaçu (59 quilômetros a sudeste), Tracuateua (128 quilômetros a noroeste) e Capitão Poço (154 quilômetros a sudoeste). Os registros de precipitação na estação meteorológica de Turiiaçu são mais provavelmente representativos das condições da barragem da Lagoa do Pirocáua, devido à sua proximidade e localização comum na costa atlântica. Além disso, a elevação da crista da barragem da Lagoa do Pirocáua (30 metros acima do nível do mar) está a 5 metros da estação meteorológica de Turiiaçu (34,38 metros acima do nível do mar; ver Tabela 1). Locais de estações meteorológicas do INMET (2021b).

A Equinox Gold (2021a-c) atribuiu a falha da barragem a um evento de precipitação extrema com um período de retorno de 10.000 anos (correspondendo a uma probabilidade anual de excedência de 0,01%). De acordo com a Equinox Gold (2021b), “De 23 a 25 de março, a região noroeste do estado do Maranhão, Brasil, recebeu chuvas excepcionalmente fortes (mais de 450 mm), descritas como um evento de chuva de 1 em 10.000 anos.” A Equinox Gold (2021a) foi mais específico por escrito, “Conforme informações coletadas das estações pluviométricas da MASA, nos dias 23/03 e 24/03, foi registrado um acúmulo de chuva de 426mm em 48 horas. De acordo com os cálculos de quantis de chuvas, pode-se considerar que houve um evento chuvoso com tempo de recorrência de 10.000 anos, cientificamente definido como chuva decamilenar”. A

Equinox Gold (2021a) esclareceu ainda que 112,7 mm, 315 mm e 27 mm de chuva caíram em 23, 24 e 25 de março, respectivamente. (Quantidades de chuvas de 112,7 mm e 315 mm somam 427,7 mm, não 426 mm. Ao longo deste relatório, os valores 112,7 mm e 315 mm serão usados para se referir à precipitação diária, enquanto 426 mm serão usados para se referir à precipitação de 48 horas.)

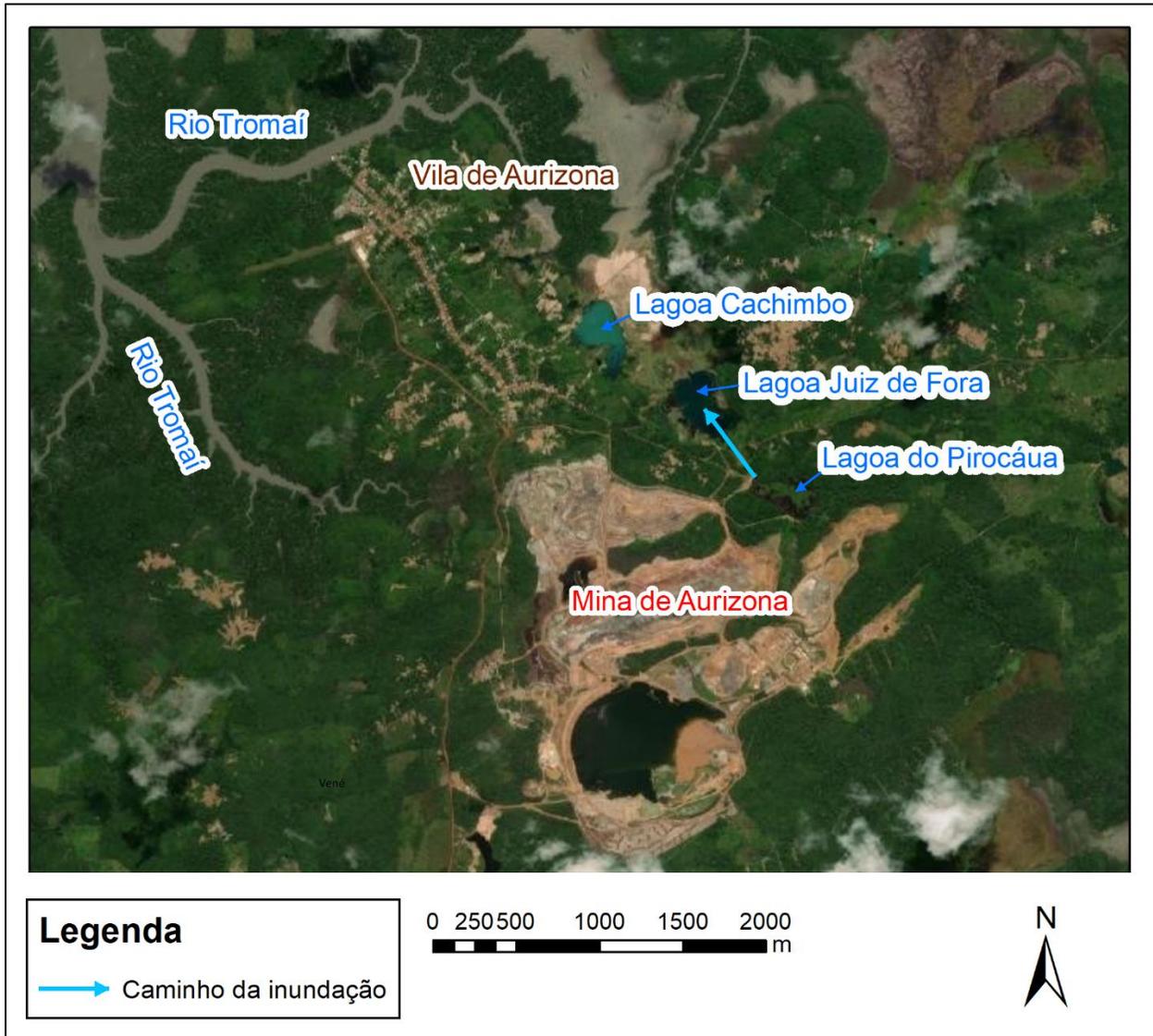


Figura 3. A falha da barragem da Lagoa de Pirocáua resultou na contaminação da Lagoa Juiz de Fora, que é o abastecimento de água para os 4.000 habitantes da vila de Aurizona.

Do ponto de vista da Equinox Gold (2021a-c), como a falha da barragem resultou de um evento de precipitação extrema, a empresa de mineração não pode ser responsabilizada pela falha da barragem e nada poderia ter sido feito para evitar a falha. De acordo com a Equinox Gold (2021a), “O que ocorreu, na realidade, foi um volume excessivo de chuvas, com registros pluviométricos anormais, em um curto intervalo de tempo, o que deu causa à inundação de vários córregos e lagoas da região, dentre os quais a Lagoa do Pirocaua ... Assim, embora se solidarize com a situação e esteja adotando diversas medidas para apoiar as comunidades

próximas à operação e minimizar os eventuais danos à infraestrutura local, **a MASA reitera que não concorreu, de nenhuma forma, para a ocorrência ou agravamento do citado incidente.** Como pode ser constatado a partir dos registros pluviométricos indicados nos itens abaixo, o evento em questão está exclusivamente relacionado ao excesso de chuvas ocorrido na região. O transbordamento da Lagoa do Pirocáua foi um fenômeno de causa natural severa, ocasionado por condições meteorológicas totalmente anormais ... Não havia qualquer medida que a MASA pudesse ter adotado para impedir ou minimizar os impactos das chuvas ... Todas as consequências do acidente decorreram unicamente de um fato natural, associado a chuvas intensas, sem que exista qualquer nexo de causalidade com as atividades desempenhadas pela mineradora” (negrito no original).

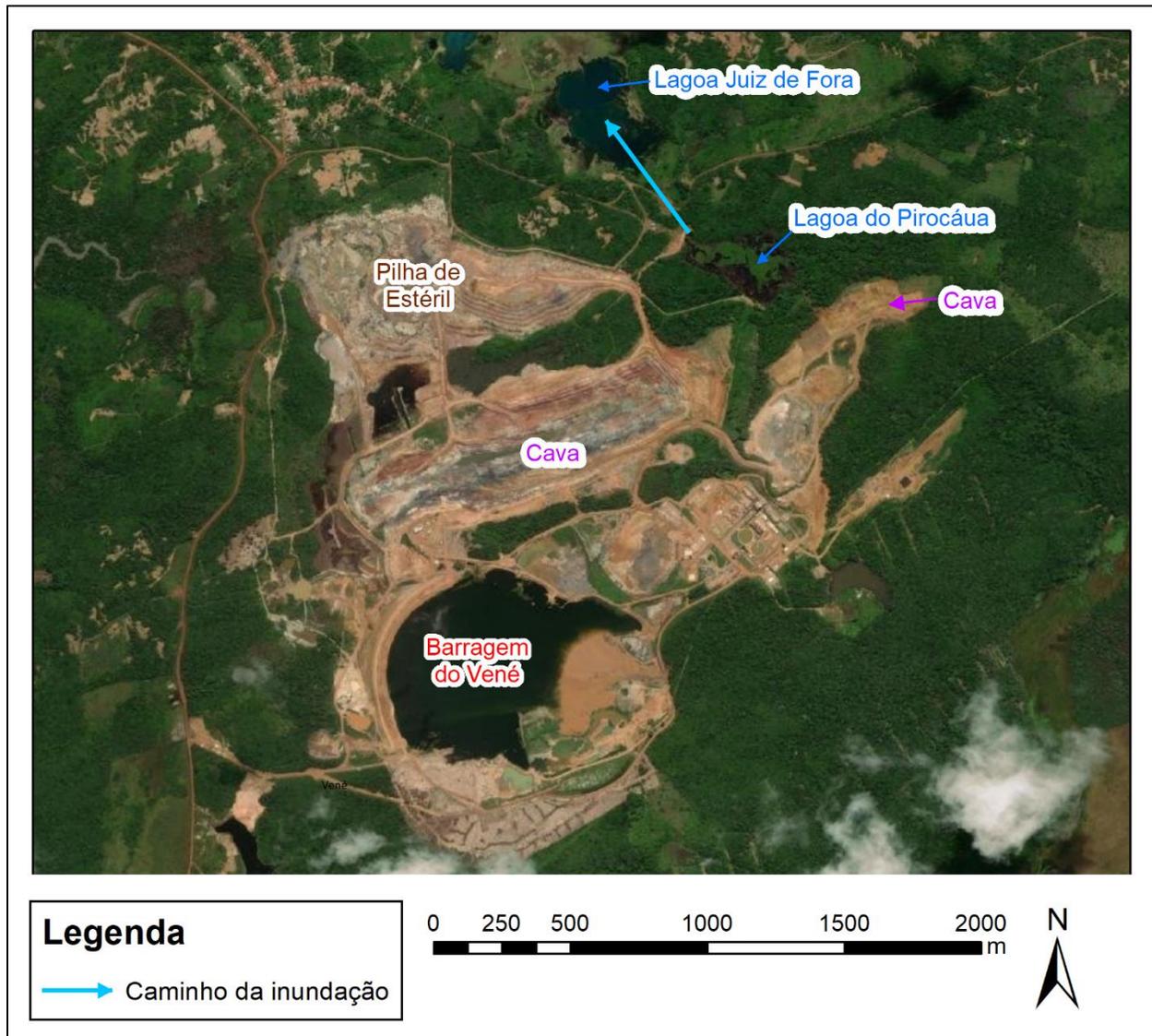


Figura 4. A falha da barragem da Lagoa de Pirocáua resultou na contaminação da Lagoa Juiz de Fora, que é o abastecimento de água para os 4.000 habitantes da vila de Aurizona. A barragem da Lagoa de Pirocáua era usada para captar e armazenar água para uso na operação de mineração e para capturar sedimentos das cavas. De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA), a falha da barragem da Lagoa de Pirocáua poderia ter sido causado não só pelas fortes chuvas dos dois dias anteriores, mas também pelo rompimento de uma cava que fica acima e ao leste da Lagoa de Pirocáua.



Figura 5. De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA), a falha da barragem da Lagoa de Pirocáua poderia ter sido causado não só pelas fortes chuvas dos dois dias anteriores, mas também pelo rompimento de uma cava que fica acima e ao leste da Lagoa de Pirocáua (fora da foto à direita). A vista da foto aérea fica a nordeste. Foto rotulada da ANM (2021a).

A Agência Nacional de Mineração (ANM) inspecionou o local do rompimento da barragem em 31 de março de 2021 (ANM, 2021a). Em seu relatório mensal, a ANM (2021a) repetiu a afirmação da Equinox Gold por escrito, “Conforme informações coletadas das estações pluviométricas da MASA, nos dias 23/03 e 24/03, foi registrado um acúmulo de chuva de 426mm em 48 horas. De acordo com os cálculos de quartis de chuvas, constantes no Relatório de Dam Break para a Barragem do Vené, também situada no empreendimento, pode-se considerar que houve um evento chuvoso com tempo de recorrência de 10.000 anos (chuva decamilenar).” A barragem de Vené é a barragem de rejeitos da mina de Aurizona (ANM, 2021c; ver Fig. 4). O Relatório de Dam Break [Ruptura de Barragem] mencionado acima não está disponível ao público.

A ANM (2021a) argumentou ainda que o evento de precipitação extrema resultou num galgamento e falha da barragem de aterro (ver Fig. 6). Uma barragem de aterro é qualquer barragem construída com materiais não consolidados, como solo, areia, argila, preenchimento de rocha ou rejeitos de mina. Frequentemente, o galgamento de uma barragem de aterro resulta na erosão e brecha da barragem (ver Fig. 7). De acordo com a ANM (2021a), “Este evento de chuva atípico causou a rápida elevação no nível do lago e resultou no transbordamento, ou galgamento (figura 10), da estrutura, o que, por sua vez, gerou um processo de brecha do maciço, resultando em sua ruptura e liberação de parte do volume de água armazenada”. A falha de uma barragem refere-se a uma liberação descontrolada de água ou outros materiais que foram armazenados atrás da barragem, sem necessariamente implicar no colapso ou perda de integridade estrutural da própria barragem (Fell et al., 2015). A Equinox Gold (2021a-c) refere-se repetidamente à falha da barragem da Lagoa do Pirocáua como um “transbordamento”, o que poderia implicar numa simples perda de água sem impacto na barragem. No entanto, a explicação e as fotos da

ANM (2021a) esclarecem que a barragem foi rompida ao longo de toda a sua altura de 7 metros (ver Fig. 6).



Figura 6. De acordo com a ANM (2021a), a barragem da Lagoa do Pirocáua, com 7 metros de altura, falhou por galgamento, o que causou uma brecha da barragem. A ANM (2021a) não ofereceu nenhuma evidência para apoiar a hipótese de galgamento, além da suposição de que 426 mm de chuva caíram nos dois dias anteriores. A vista da foto terrestre está a sudeste. Foto rotulada da ANM (2021a).



A Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA) inspecionou a falha da barragem na manhã de 25 de março e ofereceu uma causa alternativa de falha (SEMA, 2021; Governo do Maranhão—Agência de Notícias, 2021). De acordo com SEMA (2021), antes da falha da barragem, outra cava a leste da Lagoa do Pirocáua (ver Figs. 4-5) desabou, liberando sua

água para a Lagoa do Pirocáua. SEMA (2021) escreveu, “Na vistoria, os fiscais da SEMA identificaram que a causa do rompimento do talude da Lagoa do Pirocaua não foi apenas o intenso volume de chuva, mas em decorrência da existência de uma outra cava de mineração que servia como reservatório de água pluvial, localizada acima da Lagoa do Pirocaua e denominada de cava leste, que se rompeu. Dessa forma, o choque mecânico e o volume de água existente na cava provocaram a desestabilização do talude da Lagoa do Pirocaua, gerando o rompimento, que atingiu duas outras lagoas: a Lagoa de Juiz de Fora e a Lagoa do Caximbo”. Desde março de 2021, nenhum outro relatório ou investigação foi divulgado sobre a causa de falha da Lagoa do Pirocáua, além da ANM (2021a), Equinox Gold (2021a-c) e SEMA (2021).

O objetivo deste relatório é responder ao seguinte pergunta: Os relatórios da empresa de mineração e das agências governamentais fornecem explicação completa e adequada para a causa da falha da barragem da Lagoa do Pirocáua? Antes de discutir a metodologia para abordar essa pergunta, primeiro revisarei as principais causas de falha de barragens de aterro. Em seguida, será feita uma revisão da história conhecida da barragem da Lagoa do Pirocáua.

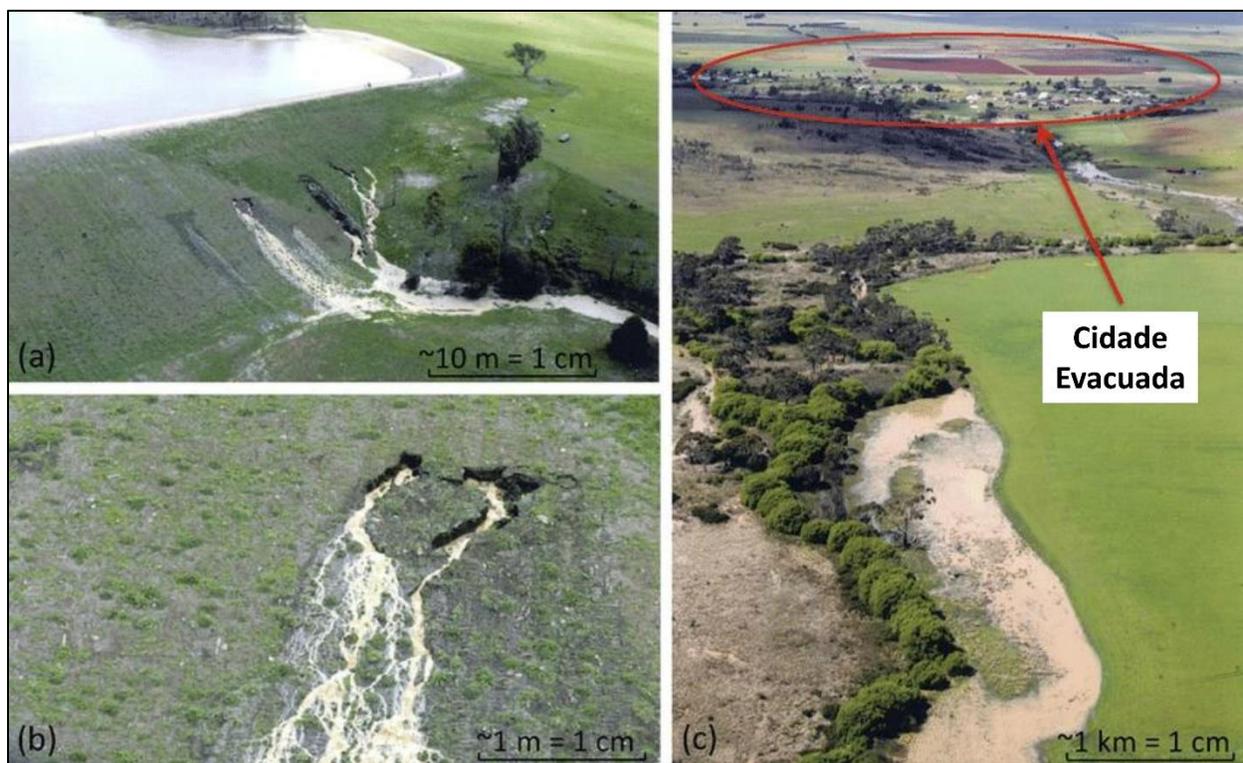


Figura 8. Erosão interna (também chamada tubulação) é o fenômeno no qual a infiltração através de uma barragem de aterro leva as partículas sólidas para fora da barragem, resultando na perda de integridade estrutural da barragem. As fotos mostram uma barragem de aterro em processo de falha por erosão interna perto de Tunbridge, Austrália, em 2005. Fotos de Fisher et al. (2017).

REVISÃO DAS CAUSAS DE FALHA DE BARRAGENS DE ATERRO

As causas mais comuns de falhas em barragens de aterro são galgamento, erosão interna, instabilidade de talude e terremotos (Fell et al., 2015). Embora as barragens de aterro também possam falhar devido à falha da fundação, isso é menos comum em pequenas barragens, como a barragem da Lagoa do Pirocáua. Embora, como mencionado acima, o galgamento

frequentemente resulte na erosão e brecha da barragem, a falha da barragem não ocorre necessariamente após qualquer episódio de galgamento. A duração do galgamento pode ser muito curta para resultar em erosão suficiente para romper a barragem. A erosão após o galgamento também pode ser parcialmente evitada (dependendo da duração do galgamento) com a instalação de uma cobertura de rocha na face a jusante do aterro. Devido à falta de documentos de projeto, não se sabe se a barragem da Lagoa do Pirocáua apresentava cobertura de rocha ou se outras medidas foram tomadas para evitar a erosão da face de jusante.\

Erosão interna (também chamada tubulação) é o fenômeno no qual a infiltração através de uma barragem de aterro leva as partículas sólidas para fora da barragem, resultando na perda de integridade estrutural da barragem (ver Fig. 8). A erosão interna pode ser evitada aumentando a largura da barragem (distância do reservatório à face a jusante) ou diminuindo a inclinação do aterro a jusante, de modo a diminuir o gradiente hidráulico e, portanto, a velocidade de infiltração. Outras medidas preventivas incluem a instalação de drenos, que forçará a infiltração a sair no pé da barragem em vez de ao longo da face, ou filtros que irão reter as partículas finas e impedir seu transporte para fora da barragem. Normalmente, o surgimento de água lamacenta na face a jusante de uma barragem de aterro é um sinal do início da erosão interna e um sinal para começar os reparos de emergência, como a construção de um contraforte ao longo do pé da barragem para alongar o caminho de infiltração.



Figura 9. A instabilidade de talude ocorre quando a tensão de cisalhamento excede a resistência ao cisalhamento ao longo de uma superfície dentro da barragem. A foto mostra a falha de um dique ao longo do rio Mississippi perto de Darrow, Louisiana, em 1983. Fotos da Association of State Dam Safety Officials (2021b).

A instabilidade da inclinação ocorre quando a tensão de cisalhamento excede a resistência ao cisalhamento ao longo de uma superfície na barragem (ver Fig. 9). A instabilidade de talude pode ser promovida por um aumento na pressão dos poros na barragem ou por um aumento no lençol freático. Sob certas circunstâncias, o material da barragem pode sofrer liquefação, na qual a pressão dos poros aumenta o suficiente para que as partículas sólidas não se toquem mais, de modo que a massa das partículas sólidas e da água se comporte como um líquido com resistência ao cisalhamento de zero. A liquefação e a instabilidade de talude também podem ser promovidas pelo movimento cíclico que ocorre durante os terremotos.

É importante observar que galgamento, erosão interna, instabilidade de talude e terremotos são todas as causas proximais ou últimas, ou seja, as causas que ocorreram mais ou menos imediatamente antes da falha da barragem. No entanto, as barragens falham devido a uma cadeia de eventos ou causas, cuja causa proximal é apenas o evento final ou o gatilho. A primeira etapa da cadeia, que inicia os eventos em movimento, é a causa raiz. A causa raiz também pode ser um evento contínuo que, se tivesse sido removido, teria evitado a falha da barragem. A causa proximal é quase sempre um evento físico, como o galgamento pela água e a erosão de uma barragem. As causas raízes, bem como muitas das causas intervenientes, são sempre as ações dos seres humanos. Dessa forma, uma barragem é uma construção antropogênica, não um relevo físico.

A seguinte cadeia de eventos possível, que poderia se aplicar à barragem da Lagoa do Pirocáua, é apresentada a fim de ilustrar a distinção entre as causas raízes e proximais:

- 1) Uma barragem é construída sem nenhum plano de monitoramento, inspeção e manutenção.
- 2) O reservatório enche mais rápido do que o esperado e num nível mais alto do que o esperado.
- 3) Como a barragem não é monitorada, inspecionada ou mantida, ninguém percebe a taxa e o nível do preenchimento do reservatório, de modo que nenhuma ação corretiva é tomada.
- 4) A deposição de sedimentos atrás da barragem faz com que o nível do reservatório aumente ainda mais.
- 5) Como a barragem não é monitorada, inspecionada ou mantida, ninguém percebe a deposição de sedimentos ou aumento do nível do reservatório, de modo que nenhuma ação corretiva é tomada.
- 6) O crescimento de arbustos e outra vegetação no aterro a jusante aumenta seu potencial de erosão.
- 7) Como a barragem não é monitorada, inspecionada ou mantida, ninguém percebe o crescimento de arbustos e outra vegetação, de modo que nenhuma ação corretiva é tomada.
- 8) O escoamento de chuva ao longo do aterro a jusante forma barrancos, o que aumenta o potencial de erosão adicional no aterro.
- 9) Como a barragem não é monitorada, inspecionada ou mantida, ninguém percebe a formação de barrancos, de modo que nenhuma ação corretiva é tomada.
- 10) Devido ao alto nível típico de água atrás da barragem, uma tempestade relativamente pequena faz com que a água flua pela crista do aterro.
- 11) Como a barragem não é monitorada, inspecionada ou mantida, ninguém percebe que a água está fluindo pela crista do aterro, de modo que nenhuma ação corretiva é tomada.
- 12) Devido à erosão pré-existente do aterro, um período relativamente curto de galgamento resulta na erosão profunda e brecha da barragem.

O ponto importante é que, embora o evento final (erosão profunda do aterro pela água corrente) seja puramente físico, a causa raiz é a falta contínua de monitoramento, inspeção e

manutenção. Se em qualquer ponto da cadeia de eventos, a causa raiz tivesse sido revertida (um programa de monitoramento, inspeção e manutenção foi iniciado), a cadeia de eventos teria sido interrompida e a falha não teria ocorrido.

HISTÓRIA DA BARRAGEM LAGOA DO PIROCÁUA

Não há informações publicamente disponíveis sobre a barragem da Lagoa do Pirocáua além do que consta no banco de dados de barragens de mineração da ANM (2021b), denominado Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM). Na verdade, não há menção da existência desta barragem em quaisquer documentos técnicos publicamente disponíveis da empresa de mineração ((Lycopodium Minerals Canada Ltd., 2017; AGP Mining Consultants Inc., 2020). Além disso, as informações sobre a barragem da Lagoa do Pirocáua e até mesmo sua existência não foram inseridas no banco de dados do SIGBM até a falha da barragem. De acordo com a ANM (2021a), “A referida estrutura, apesar de possuir um barramento, desta forma a caracterizando como barragem de mineração, não estava cadastrada no SIGBM ... Questionada sobre as características construtivas do barramento a empresa afirmou não possuir nenhum histórico construtivo em seus arquivos, afirmando inclusive, a dificuldade de entender quais foram os métodos de construção e os controles tecnológicos utilizados ... No que tange às obrigações legais da empresa, em razão de a estrutura “Lagoa do Pirocaua” se enquadrar no Art. 2º, I da Portaria 70.389/2017, determinou-se o seu imediato cadastro no Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração – SIGBM ...”

Todas as informações a seguir sobre a barragem da Lagoa do Pirocáua foram retiradas da ANM (2021b) e são as informações fornecidas pela Equinox Gold. A barragem é descrita como “cava com barramento construído” que armazena sedimentos e não rejeitos. A barragem é descrita como “desativada”, presumivelmente porque a barragem já havia falhado no momento do registro. O site também informa que a “vida útil prevista” da barragem é de 4,00 anos, embora não seja claro como uma barragem “desativada” pode ter qualquer “vida útil prevista”. A barragem foi construída a partir de “terra homogênea” sobre fundação de saprólito ou rocha alterada. A altura máxima da barragem é de 7,00 metros, o comprimento da crista é de 30,00 metros e a área do reservatório é de 71.500,00 metros quadrados. De acordo com a ANM (2021b), o “Volume de projeto licenciado do Reservatório” é de 160.000,00 metros cúbicos, enquanto o “Volume atual do Reservatório” é de 20.000,00 metros cúbicos. Isso provavelmente significa que 140.000 metros cúbicos (87,5% do volume armazenado) foram liberados devido à falha da barragem, embora isso não seja especificado. Com base na comparação da área de superfície e volume atuais, a profundidade média atual da lagoa (ou a profundidade subsequente à falha da barragem) é de apenas 28 centímetros. No que se refere à cheia de projeto, o site indica “TR [Tempo de Retorno] inferior a 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável” (AMN, 2021b), o que poderia significar simplesmente que nunca houve nenhum estudo da inundação que a barragem deve ser capaz de acomodar.

Um aspecto perturbador das informações fornecidas pela Equinox Gold (AMN, 2021b) é a admissão implícita de que não houve virtualmente nenhum cuidado ou manutenção da barragem antes da falha. Embora a ANM (2021b) relacione a vazão máxima do vertedouro como 0,50 metros cúbicos por segundo, também declara “Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas” na categoria “Confiabilidade das estruturas extravasora”. Na categoria “Tipo de auscultação”, o site informa “Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de novos instrumentos.”

O site confirma que não há “back up dam” [barragem de reserva], não há documentos de projeto, não há manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeção, não há plano de ação de emergência e não havia emissão regular de relatórios de inspeção e monitoramento ou análises de segurança. O mais importante é que a barragem da Lagoa do Pirocáua nunca recebeu uma Declaração de Condição de Estabilidade, que é exigida para todas as barragens de mineração (ANM, 2021b). A Equinox Gold não forneceu qualquer informação sobre como eles reconciliam a sua admissão de falta de manutenção da barragem no site da ANM (2021b) com a sua afirmação de que **“A MASA reitera que não concorreu, de nenhuma forma, para a ocorrência ou agravamento do citado incidente”** (negrito no original) (Equinox Gold, 2021a).

Muitas das informações no site da ANM (2021b) são uma escolha entre alternativas sem espaço para respostas gratuitas. Essas escolhas pressupõem um nível mínimo de cuidado e manutenção, de forma que a realidade potencialmente poderia ser muito pior do que o que está indicado no site. Por exemplo, na categoria “Confiabilidade das estruturas extravasora”, existem apenas quatro opções:

- 1) “Estruturas civis bem mantidas e em operação normal / barragem sem necessidade de estruturas extravasora”
- 2) “Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação”
- 3) “Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias”
- 4) “Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas”

(O site usa um sistema de numeração diferente.) Em outras palavras, não há como indicar que uma barragem precisa de vertedouro e não tem vertedouro. Também não há como indicar que não se sabe se uma barragem tem ou não um vertedouro, ou se uma barragem precisa ou não de um vertedouro, qualquer um dos quais seria consistente com a falta de quaisquer documentos de projeto.

Como outro exemplo, na categoria “Relatórios de inspeção e monitoramento da instrumentação e de Análise de Segurança”, o site (ANM, 2021b) lista cinco opções:

- 1) “Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança”
- 2) “Emite regularmente APENAS relatórios de Análise de Segurança” (ênfase no original)
- 3) “Emite regularmente APENAS relatórios de inspeção e monitoramento” (ênfase no original)
- 4) “Emite regularmente APENAS relatórios de inspeção visual” (ênfase no original)
- 5) “Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de Análise de Segurança”

(O site usa um sistema de numeração diferente.) Em outras palavras, não haveria como esclarecer que uma empresa de mineração nunca apresentou um relatório de inspeção e monitoramento ou um relatório de Análise de Segurança. A falta de apresentação de quaisquer relatórios é bastante provável, considerando que a barragem nunca recebeu uma Declaração de Condição de Estabilidade e nem mesmo foi registrada no SIGBM antes da falha da barragem (ANM, 2021a-b). Mais informações sobre a barragem da Lagoa do Pirocáua serão fornecidas na seção Resultados.

METODOLOGIA

Com base nas seções anteriores, o objetivo deste relatório pode ser subdividido nas seguintes perguntas:

- 1) A falha da barragem da Lagoa do Pirocáua foi precedido por um evento de precipitação de 10.000 anos ou um semelhante evento de precipitação raro?
- 2) A falha da barragem da Lagoa do Pirocáua foi precedido por um terremoto?
- 3) Existem evidências convincentes de que o galgamento foi a causa da falha da barragem da Lagoa do Pirocáua?
- 4) Foram tomadas as medidas adequadas para evitar mais falha da barragem da Lagoa do Pirocáua?

A primeira pergunta foi abordada comparando os registros de precipitação disponíveis da mina de Aurizona com os registros de precipitação diária do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021a-c) e do Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (Núcleo Geoambiental, 2021a-d). As estações meteorológicas do INMET mais próximas da falhada barragem da Lagoa do Pirocáua estão em Turiaçu (59 quilômetros a sudeste), Tracuateua (128 quilômetros a noroeste) e Capitão Poço (154 quilômetros a sudoeste) (ver Fig. 2 e Tabela 1). Os registros de precipitação na estação meteorológica de Turiaçu são mais provavelmente representativos das condições da barragem da Lagoa do Pirocáua, devido à sua proximidade e localização comum na costa atlântica. Com base no Google Earth, a elevação do local da barragem falhada é de 23 metros acima do nível do mar. Adicionar 7 metros adicionais para a altura da barragem (ANM, 2021a-b) resulta em uma elevação de crista de 30 metros acima do nível do mar, ou em cerca de 5 metros da estação meteorológica de Turiaçu (34,38 metros acima do nível do mar; ver Tabela 1) ou a estação meteorológica de Tracuateua (24,68 metros acima do nível do mar; ver Tabela 1). Devido à sua maior distância, localização mais no interior (ver Fig. 2) e maior elevação (79,10 metros acima do nível do mar; ver Tabela 1), a estação meteorológica de Capitão Poço deve ser menos representativa das condições da Lagoa do Pirocáua do que as estações meteorológicas de Turiaçu ou Tracuateua. Embora a estação meteorológica de Capitão Poço seja automática e as estações meteorológicas de Turiaçu e Tracuateua sejam convencionais (ou manuais), a estação meteorológica de Capitão Poço tem operado de forma menos consistente (84% do tempo) do que as estações meteorológicas de Turiaçu (99% do tempo) ou Tracuateua (98% do tempo) (ver Tabela 1). Os mapas de precipitação do Laboratório de Meteorologia - UEMA combinam os registros da rede do INMET e da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

Tabela 1. Estações meteorológicas do INMET nas proximidades da barragem da Lagoa do Pirocáua¹

Nome	Tipo	Data Inicial (d/m/a)	Cobertura ² (%)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Elevação (m)
Capitão Poço	Automática	17/04/2011	84	-1.7335	-47.0575	79,10
Tracuateua	Manual	07/09/1972	98	-1.0636	-46.8653	24,68
Turiaçu	Manual	28/07/1976	99	-1.6614	-45.3719	34,48

¹INMET (2021b)

²Cobertura com base na porcentagem de dias operacionais entre a data inicial e 20 de junho de 2021

Os períodos de retorno para eventos de precipitação extrema com durações de 24, 48 e 72 horas foram calculados para Turiaçu, Tracuateua e Capitão Poço usando métodos padrão descritos por Watson e Burkett (1995). Tal como acima, as estações meteorológicas de Turiaçu e Tracuateua são mais fiáveis neste aspecto, uma vez que apresentam quase contínuos registos de precipitação diário a partir de 1976 e 1972, respectivamente, enquanto a estação meteorológica de Capitão Poço está operacional apenas desde 2011 (ver Tabela 1). Para cada estação meteorológica, a cada ano foi atribuído um número de classificação M com os anos classificados em ordem do ano completo com a maior precipitação diária ($M = 1$) até a menor precipitação diária ($M = 44$ para Turiaçu, $M = 48$ para Tracuateua, $M = 9$ para Capitão Poço; ver Tabelas A1-A3 no Anexo). O período de retorno para cada evento de precipitação foi então calculado como

$$T = \frac{n + 1}{M} \quad (1)$$

onde T é o período de retorno em anos e n é o número de anos ($n = 44$ para Turiaçu, $n = 48$ para Tracuateua, $n = 9$ para Capitão Poço). Em todos os casos, o melhor ajuste para a quantidade de chuva em função do período de retorno foi uma função logarítmica. Os períodos de retorno foram convertidos em probabilidades de excedência anual usando

$$AEP = \frac{100}{T} \quad (2)$$

onde AEP é a probabilidade anual como uma porcentagem de que um evento de precipitação com uma duração particular será igualado ou excedido durante qualquer ano.

A possibilidade de um terremoto que precedeu a falha da barragem da Lagoa do Pirocáua foi investigada por comparação com os registos da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), que é composta por 84 estações e patrocinada pelo Serviço Geológico do Brasil (Bianchi et al., 2018; Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo, 2021). Terremotos foram considerados em qualquer lugar da América Latina durante os cinco dias incluindo e anteriores à falha da barragem (21 a 25 de março de 2021). Todas as magnitudes foram baseadas em ondas corporais (escala m_b), para as quais a RSBR possui um limiar de detecção de $m_b = 3,5$ para terremotos no Brasil na totalidade e $m_b = 3,0$ para terremotos no nordeste do Brasil, incluindo as proximidades da barragem da Lagoa do Pirocáua (Bianchi et al., 2018; Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo, 2021).

Na ausência de qualquer outra evidência para as causas proximais da falha da barragem, como fotos terrestres ou relatos de testemunhas oculares, a consideração da evidência de galgamento foi baseada exclusivamente no relatório da ANM (2021a). Embora os vídeos de drones tenham sido fornecidos ao autor pelo Conselho Nacional de Direitos Humanos (CNDH), eles não forneciam nenhuma informação útil, principalmente porque a cobertura era muito ao norte. Da mesma forma, a consideração da possibilidade de nova falha da barragem foi baseada exclusivamente no relatório da ANM (2021a) e informações sobre a barragem da Lagoa do Pirocáua no site da ANM (2021b).

RESULTADOS

Comparação com registros de precipitação

A afirmação da Equinox Gold (2021a-c) é que 426 mm de chuva caíram no local da mina durante 23 a 24 de março de 2021, constituindo um evento de 10.000 anos, com 112,77 mm em 23 de março, 315 mm em 24 de março, e outros 27 mm em 25 de março (ver Tabela 2). (Observar a contradição entre o total afirmado para 23 a 24 de março e os totais diários afirmados para 23 e 24 de março.) O objetivo desta subseção é determinar se as afirmações são realistas e consistentes com os registros de precipitação de agências governamentais. Como uma primeira etapa, as afirmações foram comparadas com o mapa de precipitação do INMET de 24 a 28 de março de 2021 (ver Fig. 10). (Não há mapa comparável que inclua 23 de março de 2021. O informativo anterior (INMET, 2021d) inclui um mapa de precipitação de 17 a 21 de março de 2021.) De acordo com o INMET (2021c), nenhuma parte da costa atlântica do estado do Maranhão (incluindo a mina de Aurizona) recebeu mais do que 150 mm de chuva durante os cinco dias entre 24 e 28 de março de 2021 (comparar Fig. 10 com Fig. 2 para localização da mina). Esta observação pode ser reconciliada com a afirmação de que 426 mm de chuva caíram no local da mina durante 23 a 24 de março de 2021, apenas se pelo menos 276 mm de chuva caíssem em 23 de março e não mais do que 150 mm de chuva caísse em 24 de março sem chuva durante os dias 25 e 28 de março, o que é inconsistente com os totais diários afirmados pela Equinox Gold (2021a) (ver Tabela 2).

Tabela 2. Comparação da precipitação na barragem da Lagoa do Pirocáua e estações meteorológicas vizinhas do INMET, de 23 a 25 de março de 2021

Estação Meteorológica	Precipitação Diária (mm)		
	23 de Março	24 de Março	25 de Março
Barragem da Lagoa do Pirocáua ¹	112,7	315	27
Capitão Poço ²	28,6	2,2	4,2
Tracuateua ²	3,0	32,2	47,9
Turiaçu ²	10,4	31,5	99,6

¹Equinox Gold (2021)

²INMET (2021b)

Numa segunda etapa, os registros de precipitação da Equinox Gold podem ser comparados com mapas de precipitação mensal para o estado do Maranhão pelo Laboratório de Meteorologia - UEMA (Núcleo Geoambiental, 2021a). Fig. 11a mostra a precipitação total de 400-450 mm para todo o mês de março de 2021 no local da mina de Aurizona, próximo ao ponto mais ao norte do Maranhão (comparar Fig. 11a com Fig. 2). Esta observação não pode ser reconciliada com os registros de precipitação da Equinox Gold (ver Tabela 2), mesmo se que nenhuma chuva tenha caído durante todo o mês de março fora de 23 a 25 de março. Fig. 11b mostra o desvio na precipitação total para o mês de março de 2021 em comparação com as normais climatológicas. A precipitação mensal no local da mina de Aurizona (comparar Fig. 11b com Fig. 2) estava bem na faixa normal (na faixa entre 25% abaixo e 35% acima da precipitação mensal média). Esta última observação é certamente inconsistente com a ocorrência de uma tempestade de 48 horas e 10.000 anos durante o mesmo mês.

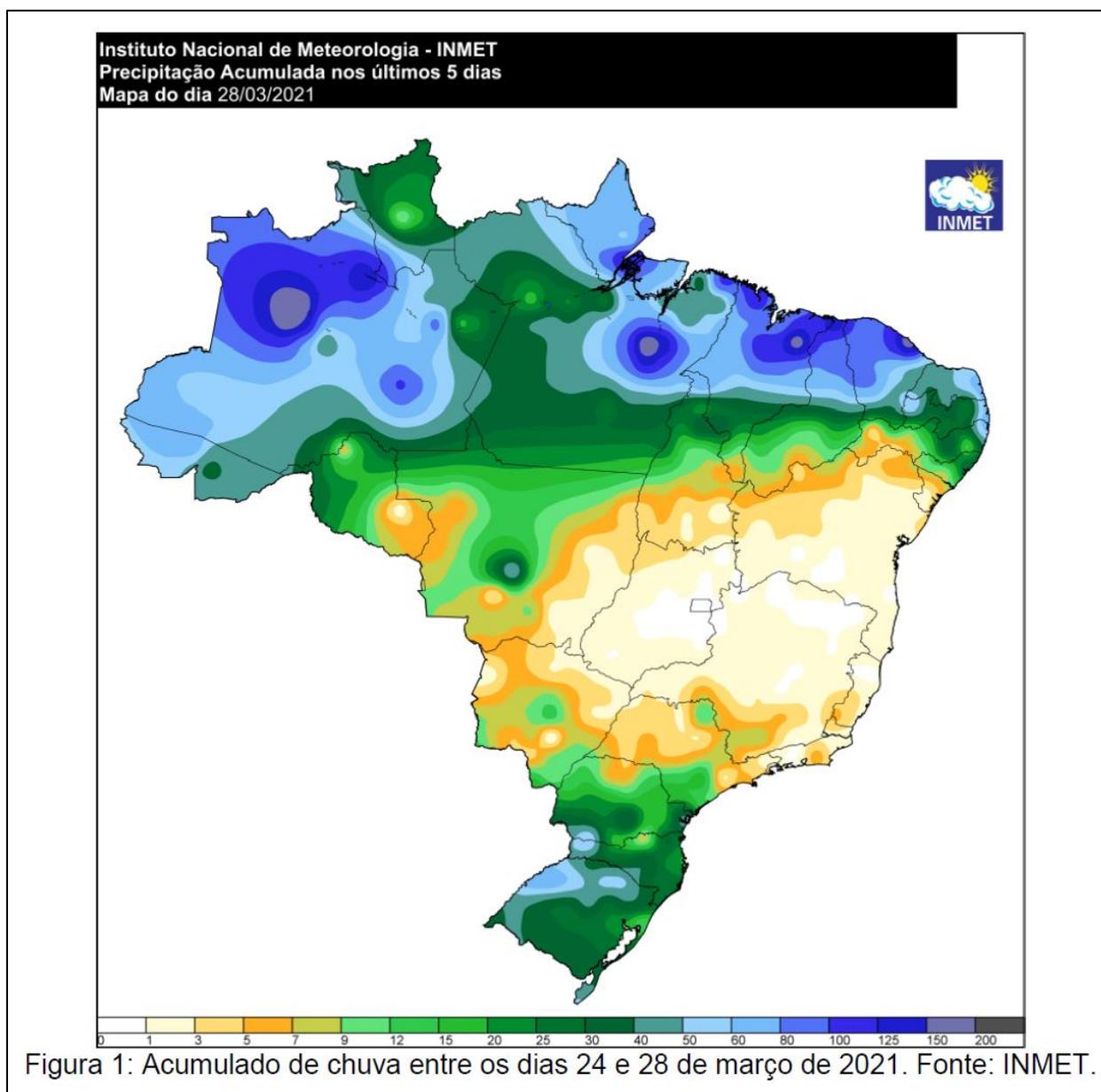


Figura 10. Segundo o INMET (2021c), nenhuma parte da costa atlântica do estado do Maranhão (incluindo a mina de Aurizona) recebeu mais de 150 mm de chuva durante os cinco dias entre 24 e 28 de março de 2021 (comparar com Fig. 2). Esta observação pode ser reconciliada com a afirmação da Equinox Gold (2021a-c) de que 426 mm de chuva caíram no local da mina durante 23 a 24 de março de 2021, apenas se pelo menos 276 mm de chuva caíssem em 23 de março e não mais que 150 mm de chuva caíssem em 24 de março sem chuva durante os dias 25 a 28 de março. Por outro lado, a Equinox Gold (2021c) afirma que as quantidades de chuva foram 112,7 mm, 315 mm e 27 mm em 23, 24 e 25 de março, respectivamente (ver Tabela 2). (De salientar que 112,7 mm e 315 mm somam 427,7 mm, não 426 mm.) Mapa do INMET (2021c).

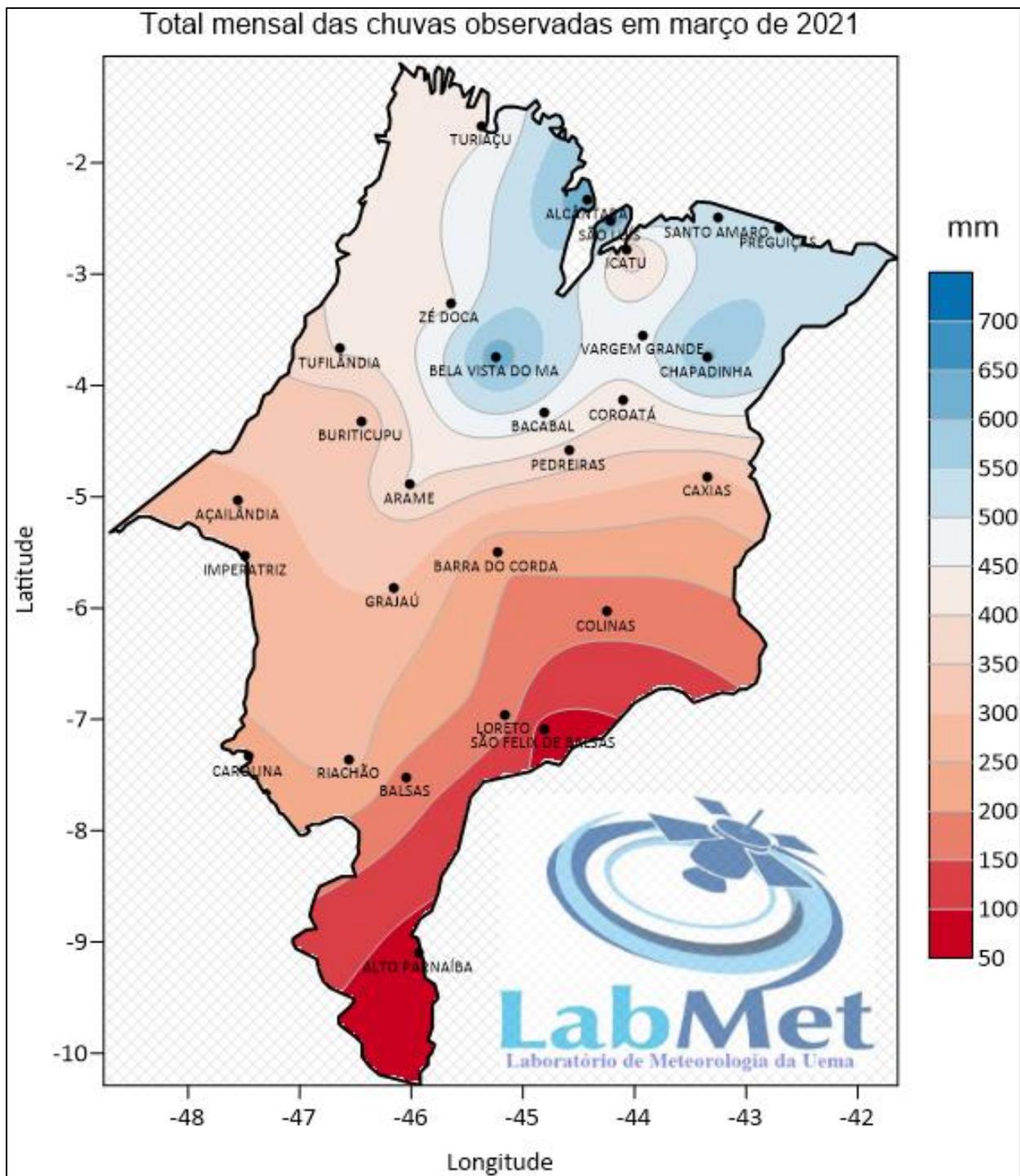


Figura 11a. Os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA combinam os registros de precipitação da rede do INMET (ver Fig. 2) e da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). O mapa acima mostra uma precipitação total de 400-450 mm para todo o mês de março de 2021 no local da mina de Aurizona, próximo ao ponto mais ao norte do Maranhão (compare com a Fig. 2). Em contraste, a Equinox Gold e a ANM afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina durante 23-24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos, com outros 27 mm de chuva em 25 de março de 2021. Mapa do Núcleo Geoambiental (2021a).

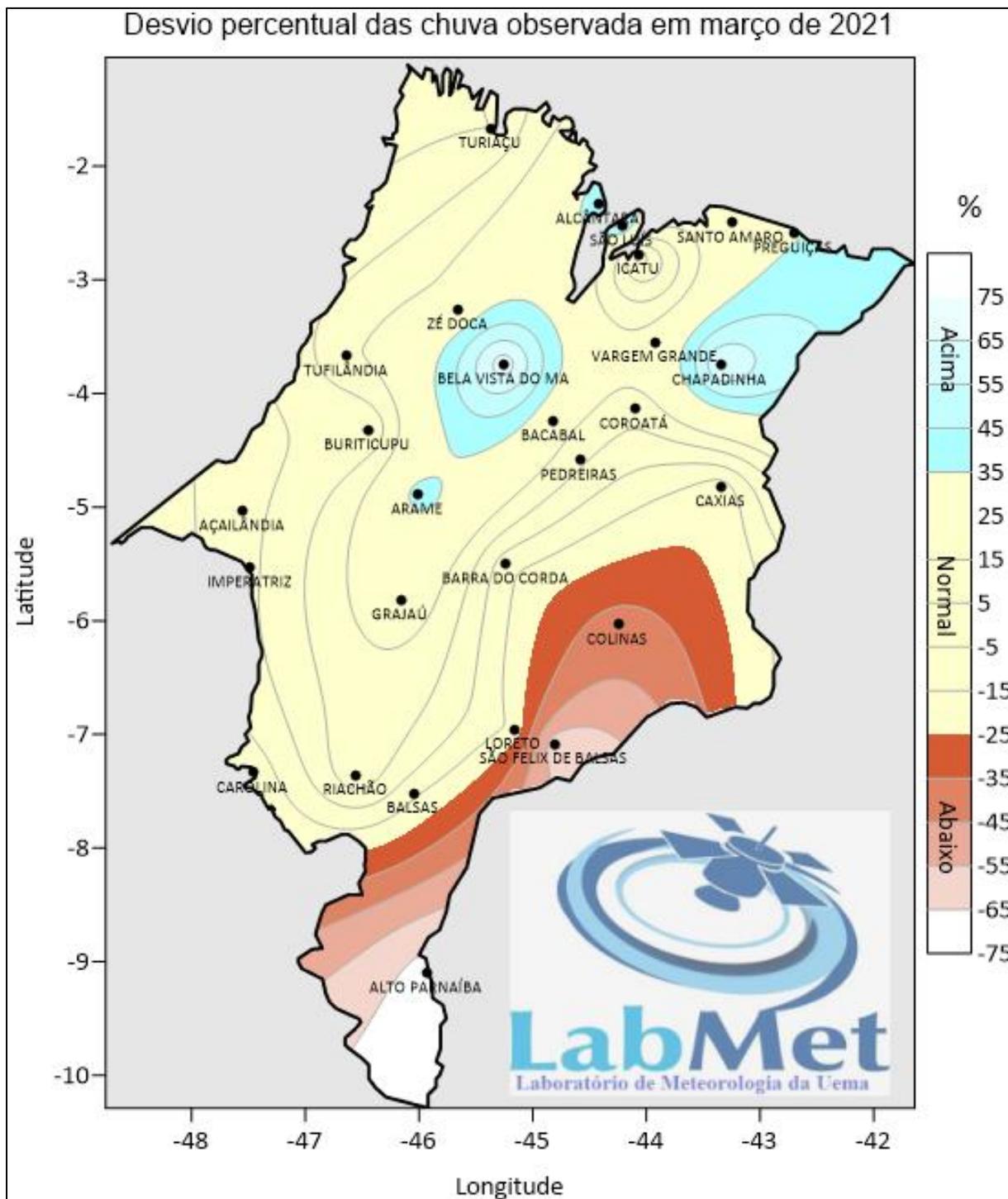


Figura 11b. Os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA combinam os registros de precipitação da rede do INMET (ver Fig. 2) e da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). O mapa acima mostra o desvio na precipitação total para o mês de março de 2021 em comparação com as normais climatológicas. A precipitação mensal no local da mina de Aurizona, próximo ao ponto mais ao norte do Maranhão (compare com a Fig. 2), estava bem dentro da normalidade. Em contraste, a Equinox Gold e a ANM afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina durante 23-24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Mapa do Núcleo Geoambiental (2021a).

Numa terceira etapa, os registros de precipitação da Equinox Gold podem ser comparados com mapas de precipitação diária para o estado do Maranhão pelo Laboratório de Meteorologia - UEMA (Núcleo Geoambiental, 2021b-d). O mapa de 23 de março mostra 10-15 mm de chuva no local da mina de Aurizona (comparar Fig. 2 com Fig. 12a). O mapa de 24 de março mostra 25-30 mm de chuva no local da mina de Aurizona (comparar Fig. 2 com Fig. 12b). O mapa de 25 de março mostra 90-95 mm de chuva no local da mina de Aurizona (comparar Fig. 2 com Fig. 12c). Os mapas de precipitação diária não podem ser reconciliados com os registros de precipitação da Equinox Gold (ver Tabela 2). Na verdade, o registro de precipitação da Equinox Gold nem mesmo reproduz o padrão temporal dos mapas de precipitação diária para o estado do Maranhão, que consiste em aumentar continuamente a quantidade de chuvas de 23 a 25 de março com a precipitação máxima em 25 de março, ou após a falha da barragem.

A quarta e mais importante etapa é comparar os registros de precipitação da Equinox Gold diretamente com os registros de precipitação das três mais próximas estações meteorológicas do INMET (ver Tabela 2). Os valores de chuva declarados na mina de Aurizona são muito menores do que os valores de chuva nas estações meteorológicas do INMET, com a precipitação diária máxima em uma estação meteorológica vizinha do INMET sendo de 99,6 mm em Turiaçu em 25 de março (após a falha da barragem). Os registros de precipitação nas estações costeiras atlânticas de Turiaçu e Tracuateua reproduzem o padrão temporal dos mapas de precipitação diária do Laboratório de Meteorologia - UEMA (ver Figs. 12a-c) com aumento constante da precipitação diária de 23 a 25 de março. A estação meteorológica de Capitão Poço, que fica mais para o interior (ver Fig. 2), recebeu muito pouca chuva depois de 23 de março.

As curvas logarítmicas são excelentes ajustes para a relação entre quantidade de chuva e período de retorno para todas as três estações meteorológicas do INMET (Turiaçu, Tracuateua, Capitão Poço) para durações de tempestade de 24, 48 e 72 horas (ver Figs. 13a-c, 14a-c e 15a-c). Isso significa que os valores de precipitação para tempestades com períodos de retorno inferiores a 100 anos podem ser determinados de forma confiável para todas as três estações meteorológicas, com um pouco menos certeza para Capitão Poço, devido ao seu período operacional mais curto, conforme discutido acima. Assim, a afirmação de uma tempestade com período de retorno de 10.000 anos nos dias 23 e 24 de março de 2021, no local da mina de Aurizona, pode ser comparada com os períodos de retorno dos eventos de precipitação correspondentes nas três estações meteorológicas do INMET. Para completar, em cada estação meteorológica do INMET, foram considerados os períodos de retorno para os seguintes intervalos:

- 1) tempestades de 24 horas em 23, 24 e 25 de março
- 2) tempestades de 48 horas de 23 a 24 de março e de 24 a 25 de março
- 3) tempestades de 72 horas durante os dias 23 a 25 de março

Deve-se notar que os períodos de retorno inferiores a um ano não são realmente significativos, uma vez que uma tempestade com um período de retorno de um ano já tem 100% de probabilidade de excedência num determinado ano. No entanto, esses períodos de retorno muito curtos ainda são declarados para enfatizar a normalidade das chuvas que ocorreram nas três estações meteorológicas do INMET durante os dias 23 e 25 de março de 2021.

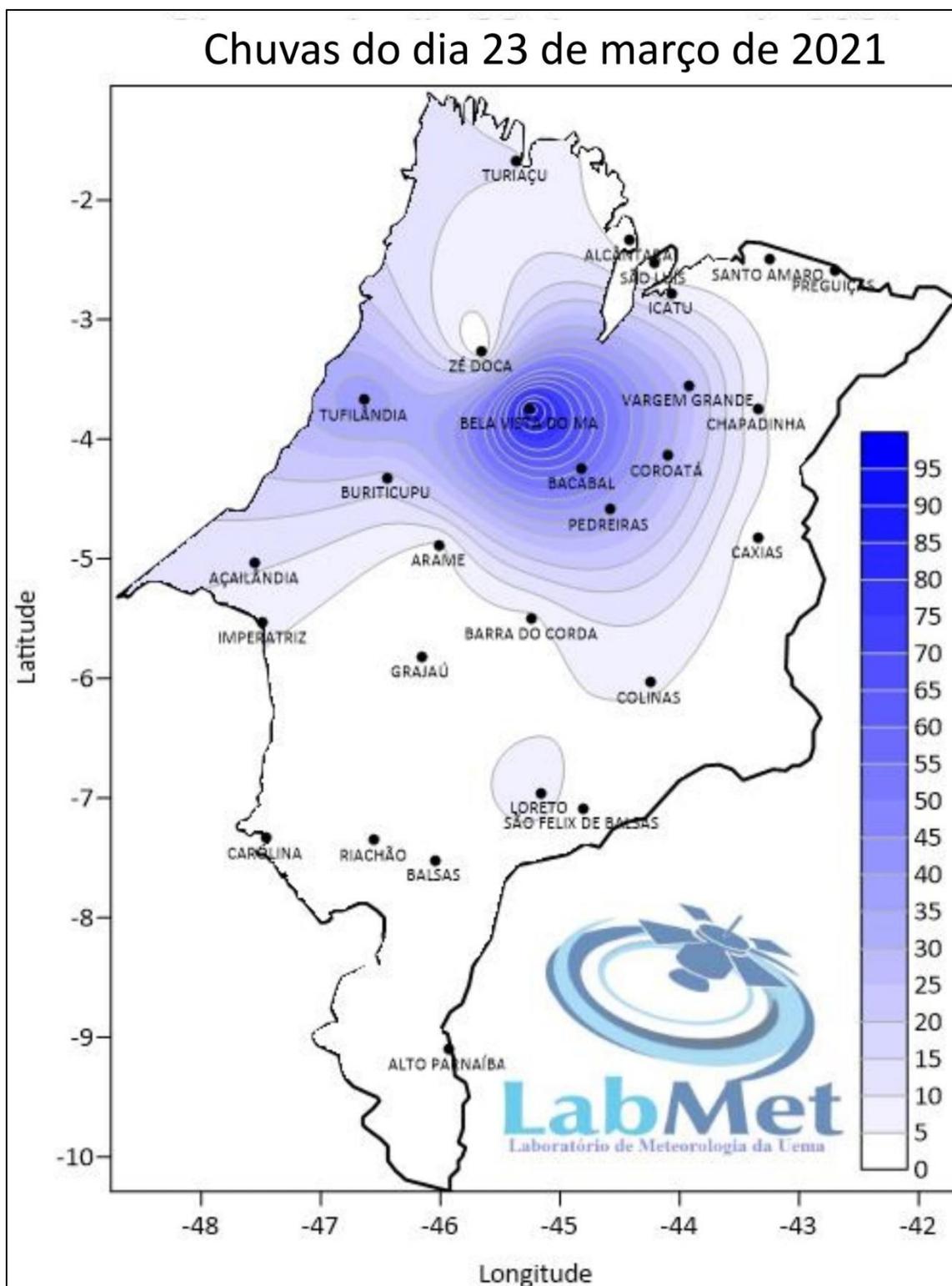


Figura 12a. Os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA combinam os registros de precipitação das redes do INMET e do CEMADEN (ver Fig. 2). O mapa acima mostra 10-15 mm de precipitação em 23 de março de 2021, no local da mina de Aurizona, próximo ao ponto mais ao norte do Maranhão (compare com a Fig. 2). Em contraste, a Equinox Gold afirma que o local da mina recebeu 112,7 mm de chuva em 23 de março de 2021. Mapa modificada do Núcleo Geoambiental (2021b).

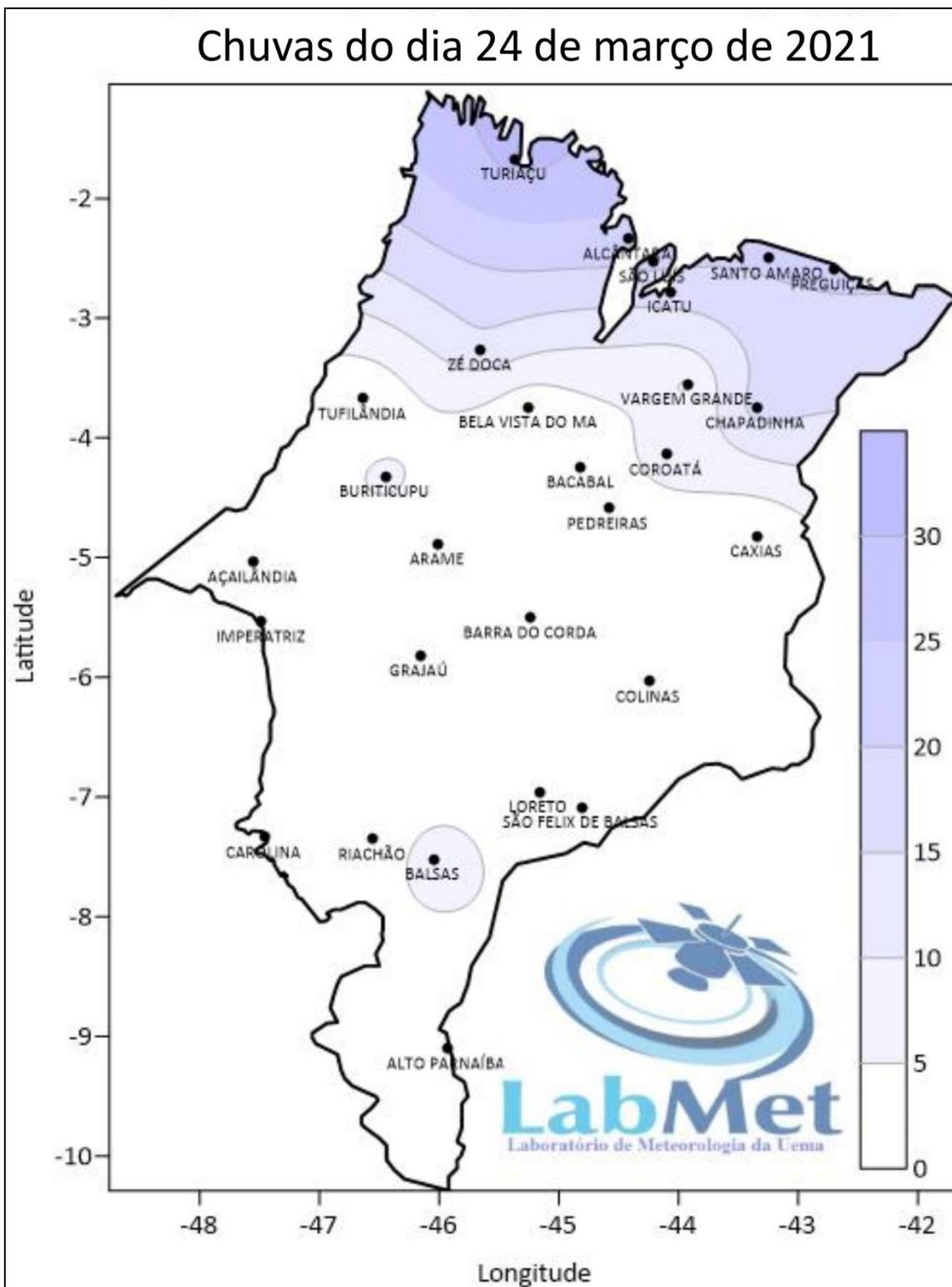


Figura 12b. Os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA combinam os registros de precipitação das redes do INMET e do CEMADEN (ver Fig. 2). O mapa acima mostra 25-30 mm de precipitação em 24 de março de 2021, no local da mina de Aurizona, próximo ao ponto mais ao norte do Maranhão (compare com a Fig. 2). Em contraste, a Equinox Gold afirma que o local da mina recebeu 315 mm de chuva em 24 de março de 2021. Mapa modificada do Núcleo Geoambiental (2021b).

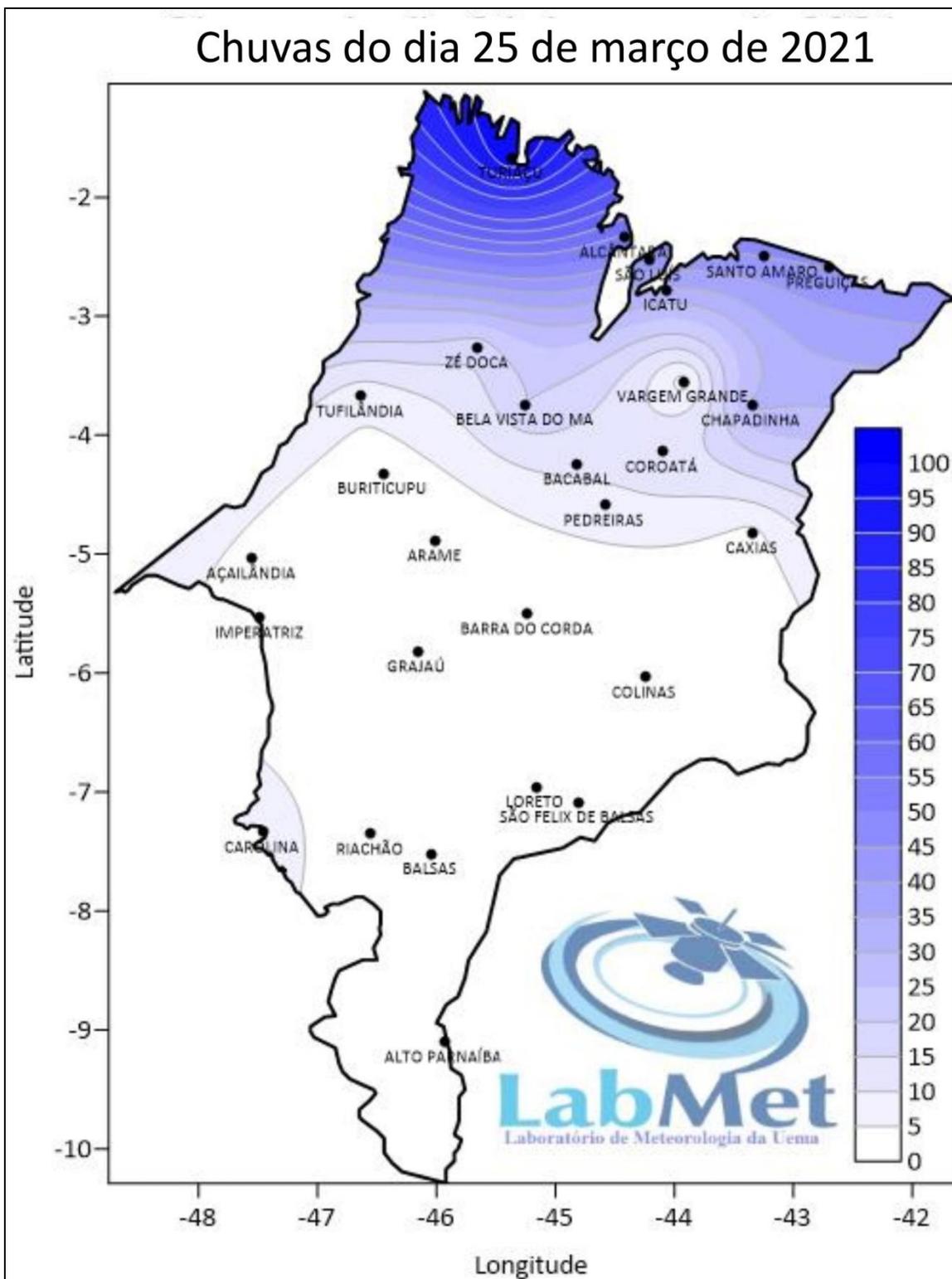


Figura 12c. Os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA combinam os registros de precipitação das redes do INMET e do CEMADEN (ver Fig. 2). O mapa acima mostra 90-95 mm de precipitação em 25 de março de 2021, no local da mina de Aurizona, próximo ao ponto mais ao norte do Maranhão (compare com a Fig. 2). Em contraste, a Equinox Gold afirma que o local da mina recebeu 27 mm de chuva em 25 de março de 2021. Mapa modificada do Núcleo Geoambiental (2021b)

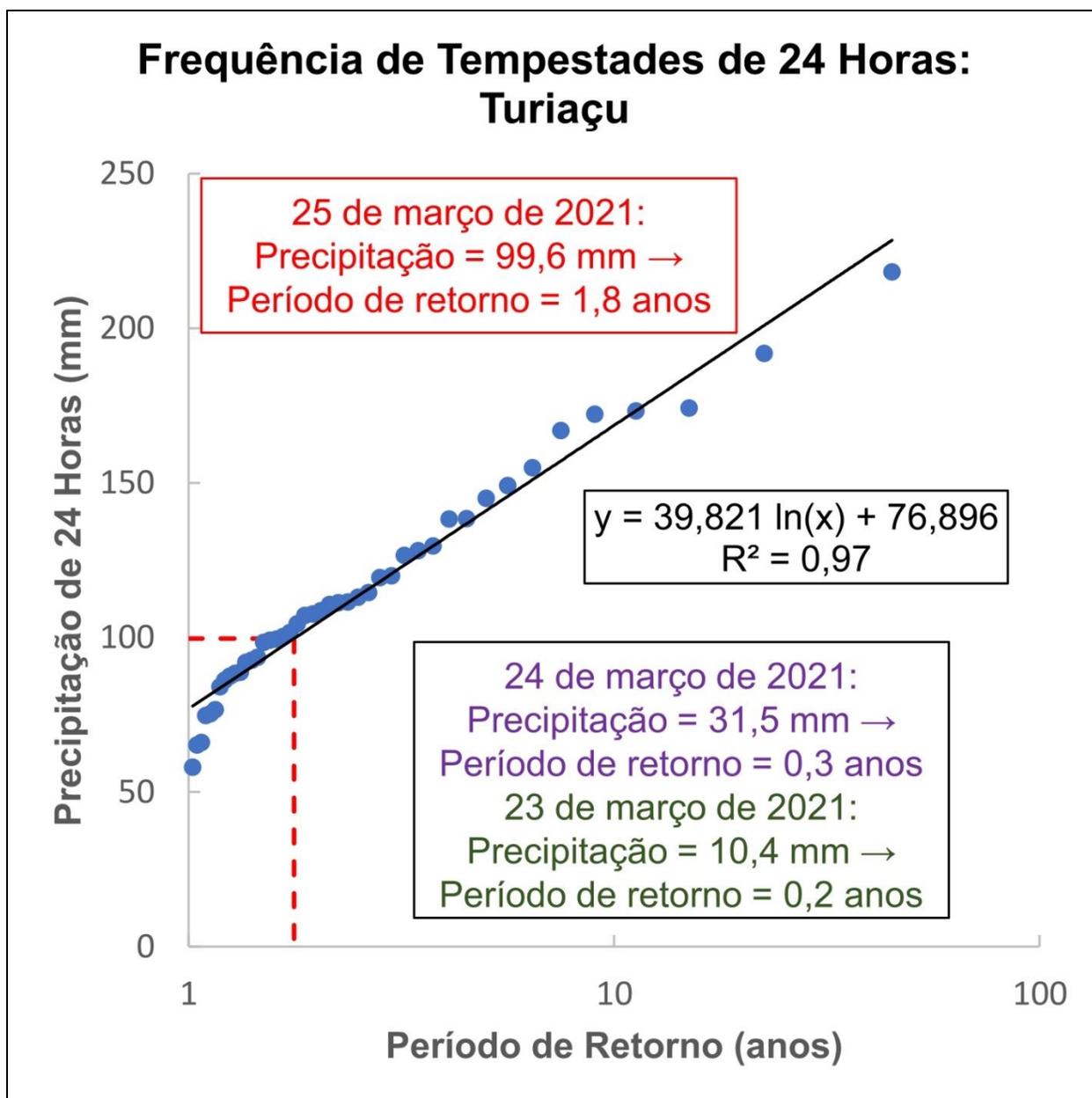


Figura 13a. Na estação meteorológica do INMET de Turiaçu (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 24 horas foram de 10,4 mm, 31,5 mm e 99,6 mm para 23, 24 e 25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,2 anos, 0,3 anos e 1,8 anos, respectivamente. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Turiaçu foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

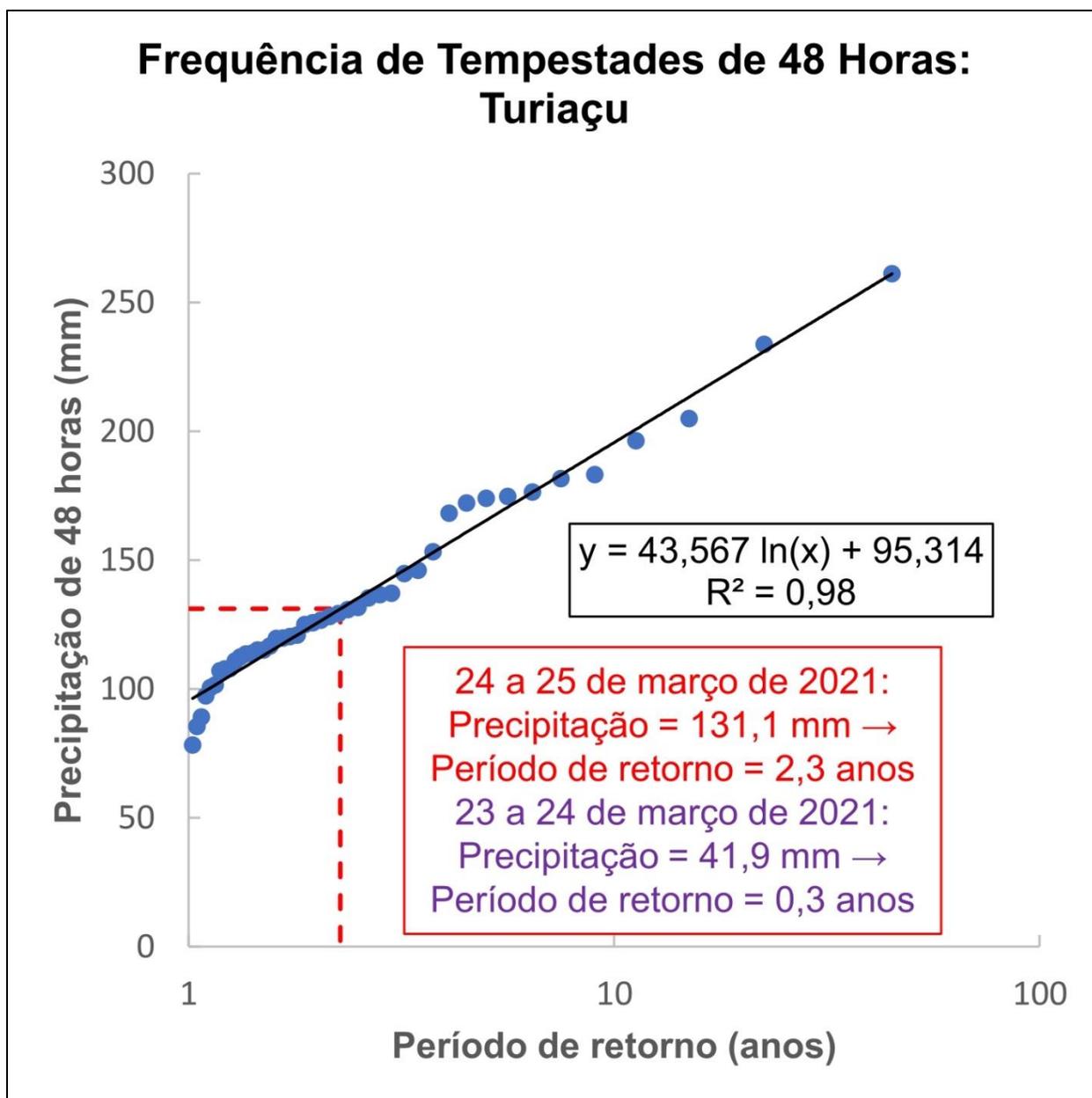


Figura 13b. Na estação meteorológica do INMET de Turiaçu (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 48 horas foram de 41,9 mm e 131,1 mm nos dias 23-24 e 24-25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,3 anos e 2,3 anos, respectivamente. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Turiaçu foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

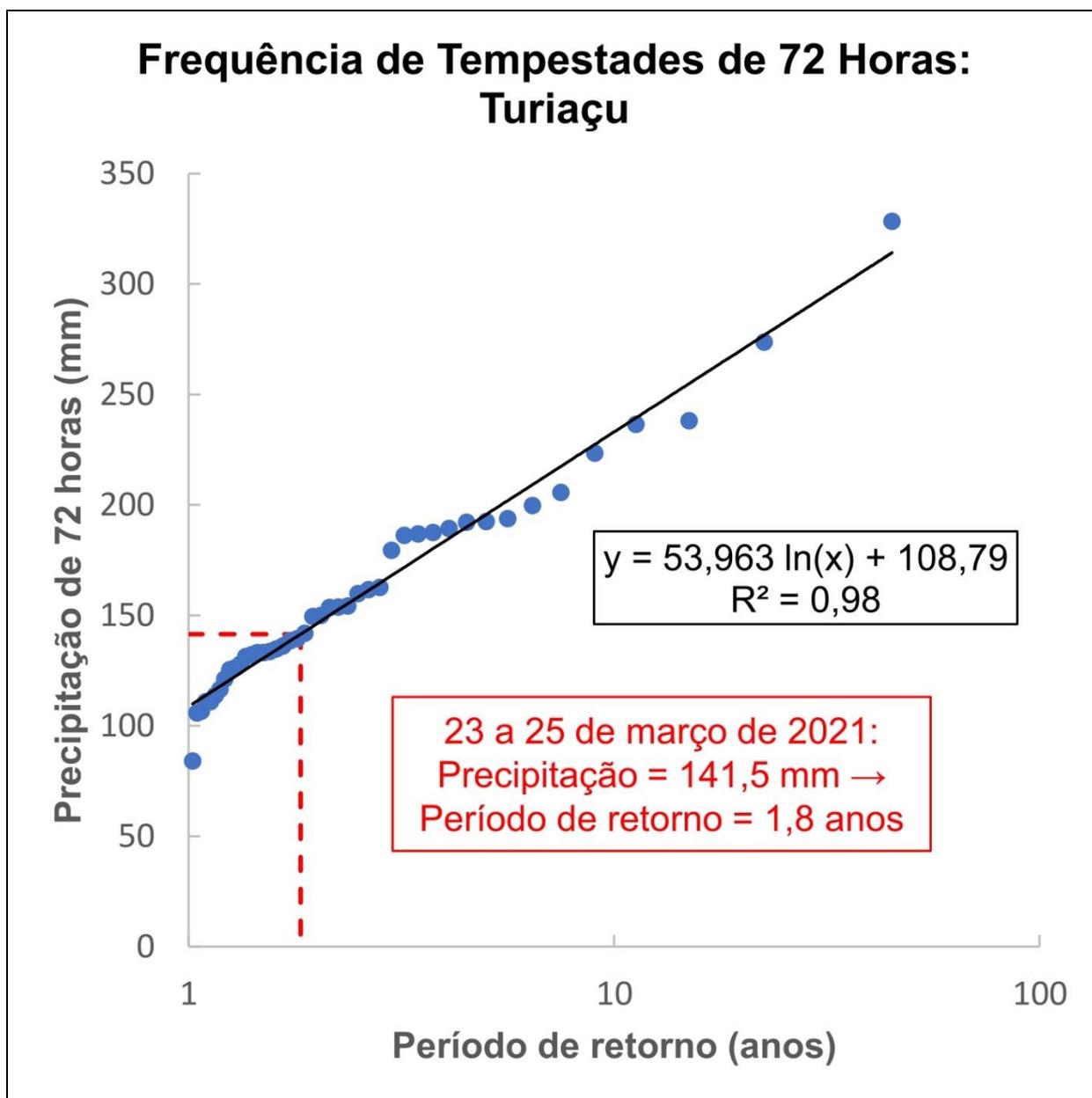


Figura 13c. Na estação meteorológica do INMET de Turiaçu (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 72 horas foram de 141,5 mm de 23 a 25 de março de 2021, correspondendo a um período de retorno de 1,8 anos. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Turiaçu foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

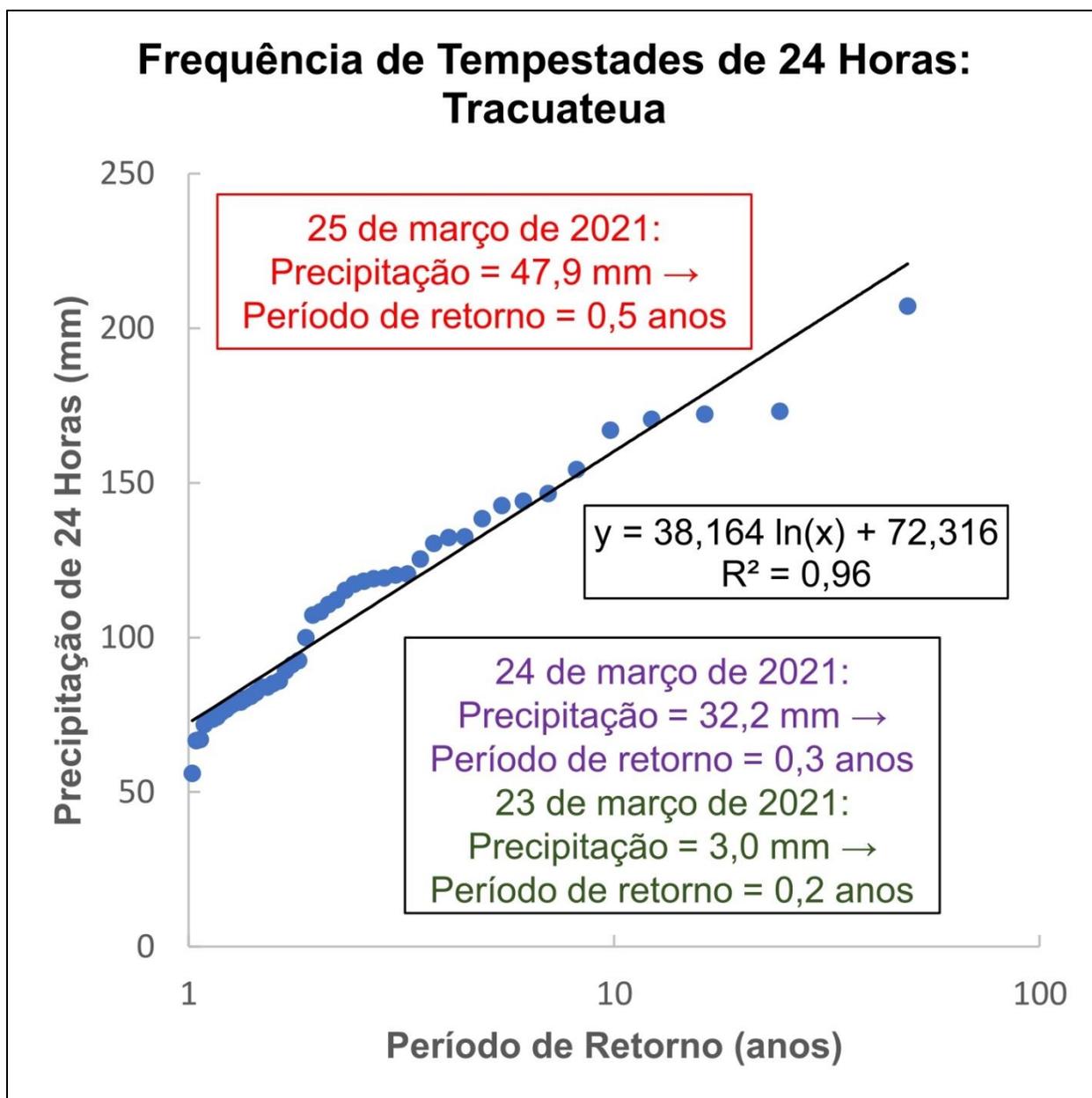


Figura 14a. Na estação meteorológica do INMET de Tracuateua (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 24 horas foram de 3,0 mm, 32,2 mm e 47,9 mm para 23, 24 e 25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,2 anos, 0,3 anos e 0,5 anos, respectivamente. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Tracuateua foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

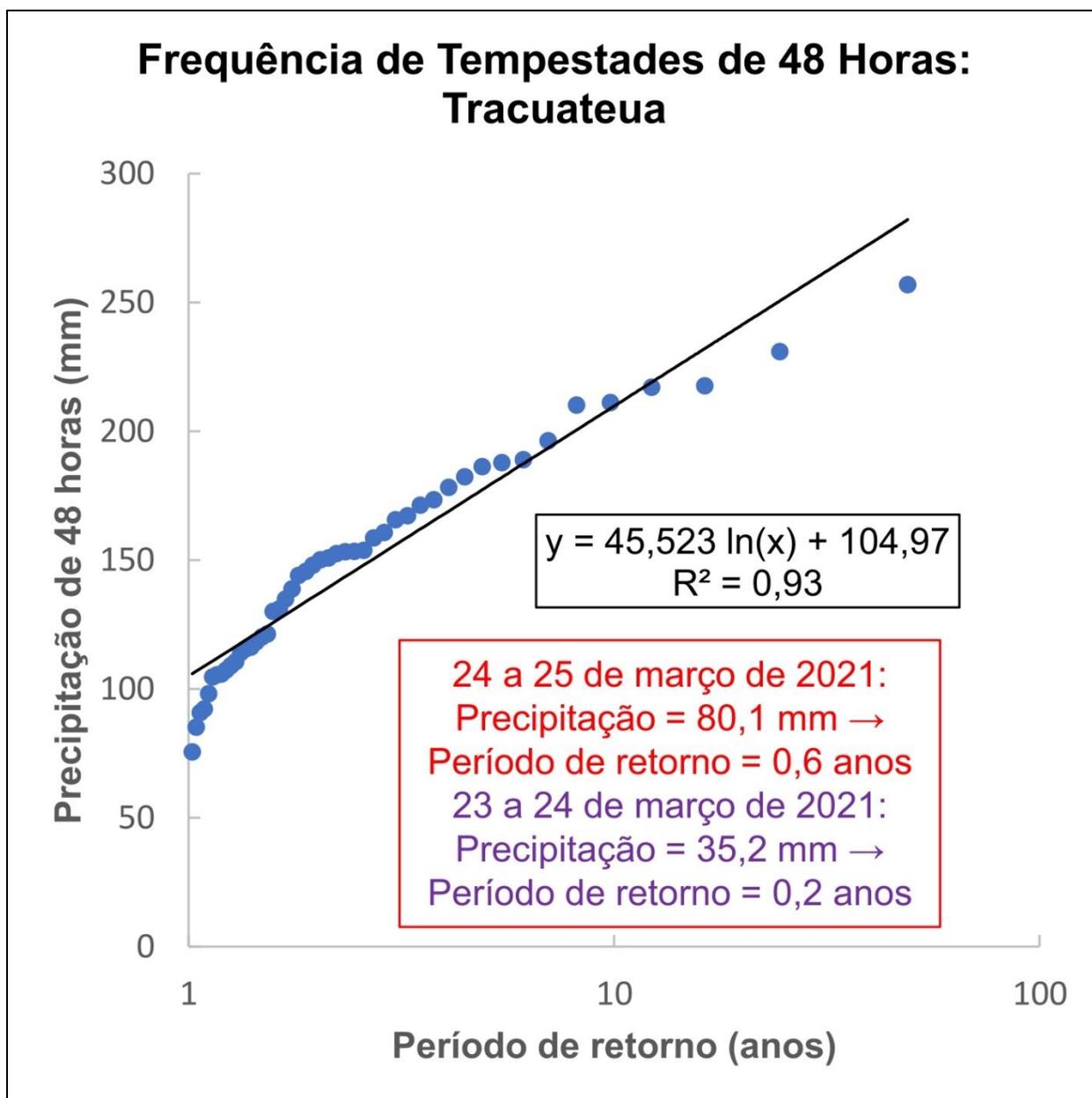


Figura 14b. Na estação meteorológica do INMET de Tracuateua (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 48 horas foram de 35,2 mm e 80,1 mm nos dias 23-24 e 24-25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,2 anos e 0,6 anos, respectivamente. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Tracuateua foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

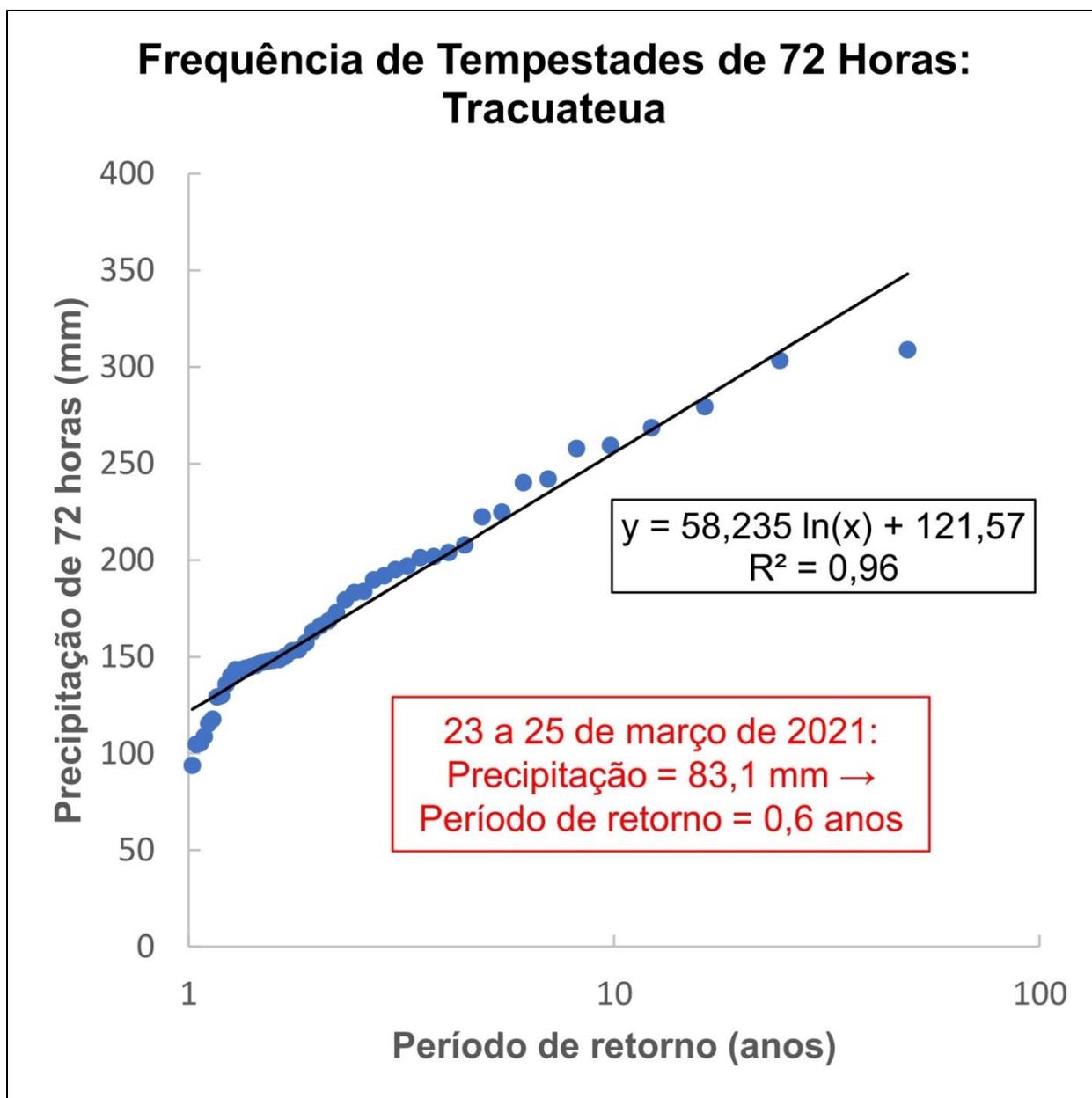


Figura 14c. Na estação meteorológica do INMET de Tracuateua (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 72 horas foram de 83,1 mm de 23 a 25 de março de 2021, correspondendo a um período de retorno de 0,6 anos. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Tracuateua foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

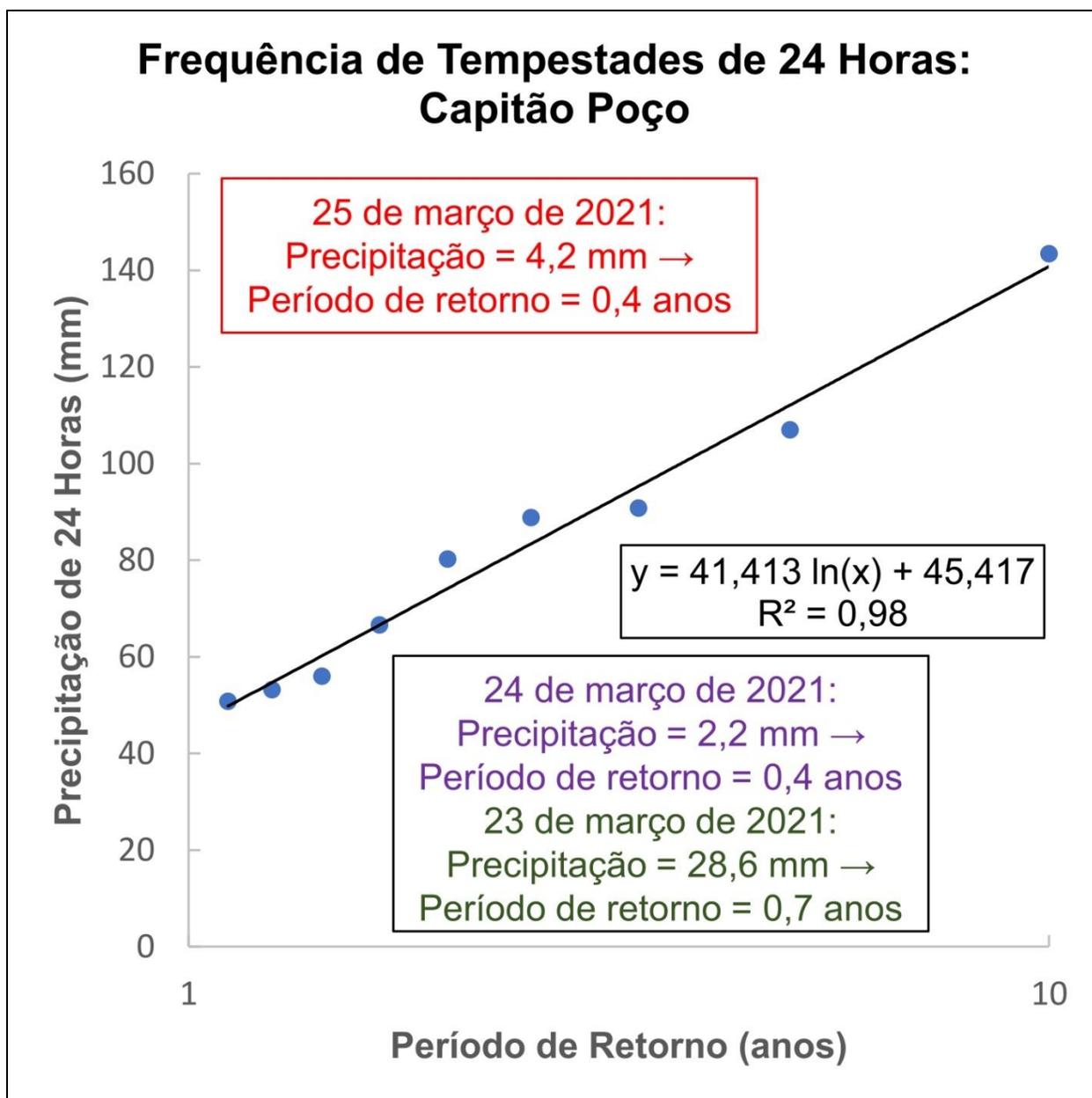


Figura 15a. Na estação meteorológica do INMET de Capitão Poço (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 24 horas foram de 28,6 mm, 2,2 mm e 4,2 mm para 23, 24 e 25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,7 anos, 0,4 anos e 0,4 anos, respectivamente. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Capitão Poço foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

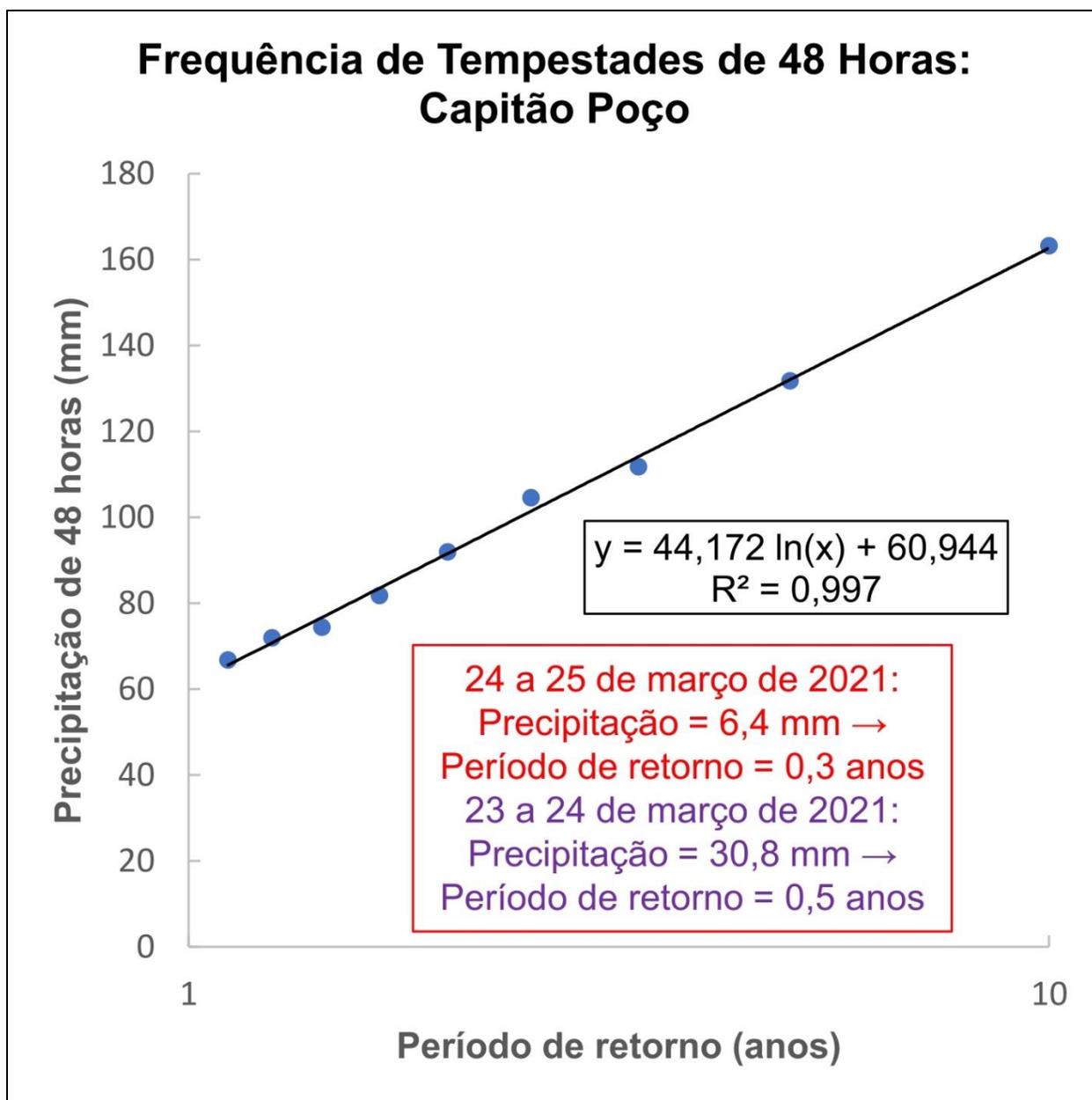


Figura 15b. Na estação meteorológica do INMET de Capitão Poço (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 48 horas foram de 30,8 mm e 6,4 mm nos dias 23-24 e 24-25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,5 anos e 0,3 anos, respectivamente. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Capitão Poço foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

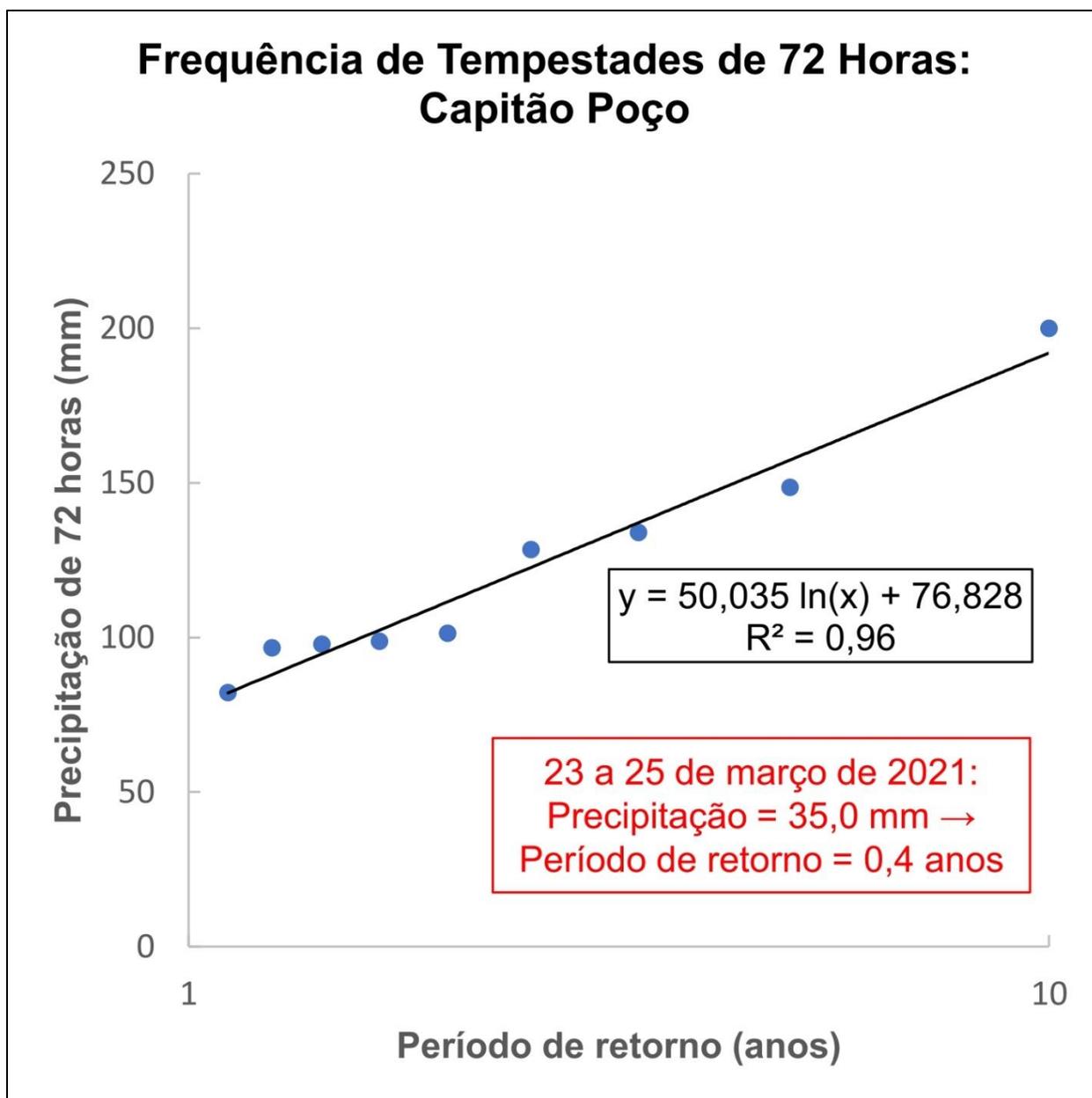


Figura 15c. Na estação meteorológica do INMET de Capitão Poço (ver Fig. 2 e Tabela 1), as chuvas em 72 horas foram de 35,0 mm de 23 a 25 de março de 2021, correspondendo a um período de retorno de 0,4 anos. De salientar que períodos de retorno menores que um ano não são significativos, uma vez que um período de retorno de um ano já corresponde a eventos com 100% de probabilidade de excedência em qualquer ano. Em contraste, a Equinox Gold (2021a-c) e a ANM (2021a) afirmam que 426 mm de chuva caíram no local da mina de Aurizona durante 23 a 24 de março de 2021, correspondendo a um evento de 10.000 anos. Os períodos de retorno para Capitão Poço foram calculados a partir dos dados do INMET (2021b).

Na estação meteorológica do INMET de Turiaçu, a quantidade de chuva de 24 horas foi de 10,4 mm, 31,5 mm e 99,6 mm nos dias 23, 24 e 25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,2 anos, 0,3 anos e 1,8 anos, respectivamente, com a precipitação de 24 horas em 25 de março correspondendo a uma probabilidade de excedência anual de 56% (ver Tabela 2 e Fig. 13a). A quantidade de chuva de 48 horas foi de 41,9 mm e 131,1 mm para 23-24

e 24-25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,3 anos e 2,3 anos (probabilidade de excedência anual de 44%), respectivamente (ver Tabela 2 e Fig. 13b). A quantidade de chuva de 72 horas foi de 141,5 mm para 23-25 de março de 2021, correspondendo a um período de retorno de 1,8 anos (probabilidade de excedência anual de 55%) (ver Tabela 2 e Fig. 13c).

Na estação meteorológica do INMET de Tracuateua, a quantidade de chuva em 24 horas foi de 3,0 mm, 32,2 mm e 47,9 mm em 23, 24 e 25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,2 anos, 0,3 anos e 0,5 anos, respectivamente (ver Tabela 2 e Fig. 14a). A quantidade de chuva de 48 horas foi de 35,2 mm e 80,1 mm para 23-24 e 24-25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,2 anos e 0,6 anos, respectivamente (ver Tabela 2 e Fig. 14b). A quantidade de chuva de 72 horas foi de 83,1 mm para 23-25 de março de 2021, correspondendo a um período de retorno de 0,6 anos (ver Tabela 2 e Fig. 14c).

Na estação meteorológica do INMET de Capitão Poço, a quantidade de chuva em 24 horas foram de 28,6 mm, 2,2 mm e 4,2 mm nos dias 23, 24 e 25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,7 anos, 0,4 anos e 0,4 anos, respectivamente (ver Tabela 2 e a Fig. 15a). A quantidade de chuva de 48 horas foi de 30,8 mm e 6,4 mm para 23-24 e 24-25 de março de 2021, correspondendo a períodos de retorno de 0,5 anos e 0,3 anos, respectivamente (ver Tabela 2 e Fig. 15b). A quantidade de chuva de 72 horas foi de 97,8 mm para 23-25 de março de 2021, correspondendo a um período de retorno de 0,6 anos (ver Tabela 2 e Fig. 15c).

Em resumo, segundo as estações meteorológicas das redes do INMET e do CEMADEN, os dias entre 23 e 25 de março de 2021 foram simplesmente típicos dias chuvosos do mês de março na costa atlântica do norte do Maranhão. Fica a possibilidade de ter ocorrido uma tempestade muito localizada de 48 horas com um período de retorno de 10.000 anos apenas no local da mina de Aurizona que não afetou nenhuma das estações meteorológicas circundantes. Tempestades e tornados de curta duração podem ser altamente localizados, mas tempestades de um dia e de vários dias tendem a ter escalas espaciais maiores. Em geral, existe uma correlação entre a escala temporal e espacial de uma tempestade, bem como entre a precipitação total e a escala espacial de uma tempestade. No entanto, essas correlações não foram bem quantificadas no Brasil.

Um estudo recente quantificou as escalas espaciais de eventos de precipitação extrema de 24 horas (períodos de retorno maiores ou iguais a 10 anos, correspondentes a probabilidades de excedência anual $\leq 10\%$) para os Estados Unidos durante 1965-2014 (Touma et al., 2018). O estudo descobriu que, para o leste dos Estados Unidos, as escalas espaciais para eventos de precipitação extrema de 24 horas alcançaram 400 quilômetros durante os meses de inverno, mas estavam mais perto de 200 quilômetros durante os meses de verão. Para a região noroeste dos Estados Unidos, as escalas espaciais foram de aproximadamente 150 quilômetros sem variação sazonal (Touma et al., 2018). As escalas espaciais de eventos de precipitação mais extrema, como eventos de 10.000 anos, devem ser consideravelmente maiores, embora isso ainda não tenha sido quantificado. Com base nisso, é altamente improvável que uma tempestade de 48 horas e de 10.000 anos tenha ocorrido no local da mina de Aurizona e não tenha sido registrada em nenhuma das estações meteorológicas circundantes.

Comparação com registros sísmicos

A Rede Sismográfica Brasileira registrou 13 terremotos na América Latina de 21 a 25 de março de 2021 (ver Fig. 1 e Tabela 3). No entanto, nenhum desses terremotos ocorreu em qualquer lugar do Brasil. O terremoto mais próximo durante 21-25 de março foi um terremoto de magnitude 4,1 na Guiana, 1.606 quilômetros a noroeste, em 24 de março (ver Fig. 1 e Tabela 3). Em resumo, é altamente improvável que a causa proximal da falha da barragem tenha sido um terremoto. No entanto, é possível que um terremoto tenha ocorrido muito antes e que os danos causados por ele nunca tenham sido reparados, contribuindo para a cadeia de eventos que culminou na falha da barragem. Esta possibilidade será explorada com mais detalhes na seção Discussão.

Tabela 3. Terremotos na América Latina durante 21 a 25 de março de 2021¹

Data (d/m)	Hora (UTC)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Magnitude	Descrição
25/3	08:13	13.4535	-89.5701	5,0	El Salvador
25/3	06:48	10.4349	-62.8614	4,2	perto da costa da Venezuela
24/3	13:27	-17.9274	-76.7830	4,8	na costa do Peru
24/3	02:12	2.8055	-59.6170	4,1	Guiana
23/3	06:43	-9.8418	-78.9126	4,6	perto da costa do norte do Peru
23/3	02:49	7.1149	-71.2649	4,6	Venezuela
22/3	08:11	-20.9310	-66.9629	4,2	sul da Bolívia
22/3	07:00	-24.1927	-67.0663	4,3	região de fronteira Chile-Argentina
22/3	06:39	-23.1904	-70.5756	4,0	perto da costa do norte do Chile
22/3	04:38	3.93309	-71.4195	5,2	Colômbia
21/3	14:17	-19.5347	-64.0919	5,4	sul da Bolívia
21/3	10:55	-21.1070	-67.3400	4,8	região de fronteira Chile-Bolívia
21/3	05:02	14.1155	-92.4658	5,0	perto da costa de Chiapas, México

¹Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo (2021)

Evidência de galgamento

Na verdade, a ANM (2021a) não apresentou nenhuma evidência de que a causa da falha da barragem da Lagoa do Pirocáua foi o galgamento. A ANM (2021a) essencialmente presumiu que, porque uma tempestade de 10.000 anos ocorreu antes da falha da barragem, a barragem deve ter falhado devido ao galgamento. De salientar que, embora a ANM (2021a) atribuísse a fonte de conhecimento da tempestade de 10.000 anos apenas à estação meteorológica da mina de Aurizona, a ANM (2021a) repetiu as informações da Equinox Gold sem qualquer questionamento ou comparação com registros de precipitação de outras estações meteorológicas.

O problema em determinar a causa proximal da falha da barragem a partir de apenas uma foto terrestre pós-falha (ver Fig. 6), sem registros de monitoramento ou inspeção, sem fotos terrestres durante a falha e sem relatos de testemunhas oculares, é que a falha da barragem foi tão completa. Uma brecha de barragem devido ao galgamento tende a iniciar no topo da barragem, de modo que a brecha pode ter uma forma triangular ou trapezoidal com o lado mais largo no topo. Uma brecha de barragem devido à erosão interna tende a iniciar no local de emergência da infiltração e então se propagar para cima, de forma que uma brecha parcial pode deixar porções

intactas da crista da barragem. Uma falha de barragem devido à instabilidade de talude iniciará no ponto da superfície de falha com a menor razão de resistência ao cisalhamento e tensão de cisalhamento e, em seguida, se propagará para cima e para baixo na superfície de falha. No entanto, quando a brecha da barragem é total, com a barragem rompida de cima para baixo (ver Fig. 6), não há evidências remanescentes do processo de rompimento da barragem. Em resumo, a causa proximal da falha da barragem é desconhecida. A causa raiz da falha da barragem é conhecida e será abordada na seção Discussão.

Perspectivas para mais falha de barragem

Após a falha da barragem, uma barragem de emergência foi construída no local da barragem falhada (ANM, 2021a; ver Fig. 16). Com base na altura de 7 metros da barragem falhada (ver Fig. 6) e na pessoa da foto (ver Fig. 16), a barragem reconstruída tem cerca de dois metros de altura, portanto, consideravelmente mais baixa do que a barragem falhada. De acordo com o site da ANM (2021b), todos os problemas que levaram à falha da barragem inicial ainda persistem até o momento desta redação. Em particular, os seguintes problemas ainda permanecem com relação à barragem reconstruída:

- 1) O período de retorno da cheia de projeto para a barragem é inferior a 500 anos ou desconhecido.
- 2) Existem problemas identificados com as estruturas extravasora sem medidas corretivas.
- 3) Existe instrumentação em desacordo com o projeto sem processo de instalação de novos instrumentos.
- 4) Não há barragem de reserva.
- 5) Não há documentos de projeto.
- 6) Não há manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeção.
- 7) Não há plano de ação de emergência.
- 8) Não há emissão regular de relatórios de inspeção e monitoramento ou análises de segurança.
- 9) Não há Declaração de Condição de Estabilidade.

Os problemas remanescentes acima não são simplesmente uma questão de não atualização do site, porque o site esclarece que o “Data da última Vistoria de Inspeção Regular” foi em 11 de junho de 2021 (ANM, 2021b). Uma vez que a barragem reconstruída mantém os mesmos problemas da barragem inicial, e uma vez que a barragem reconstruída é significativamente mais baixa do que a barragem inicial, e uma vez que a precipitação de 23-24 de março de 2021, provavelmente não foi rara ou extrema de qualquer modo, deveria ser assumiu que a probabilidade de falha é ainda maior agora do que era em 25 de março de 2021. A esse respeito, de salientar que, mesmo que o reservatório (Lagoa do Pirocáua) tenha esvaziado em sua maioria na manhã do dia 25 de março, o reservatório não é preenchido intencionalmente pela operação de mineração, mas se enche naturalmente pelo escoamento da bacia e pelo fluxo de água e sedimentos das outras cavas. O reservatório pode estar parcial ou totalmente cheio no momento, mas essa informação não está disponível. Não está claro se o “Volume atual do Reservatório” ainda é de 20.000 metros cúbicos, uma vez que esse valor não foi atualizado (ANM, 2021b).

Na verdade, até o momento desta redação, a ANM (2021d) classifica a barragem reconstruída como Nível de Emergência 1. De acordo com a ANM (2017), uma barragem é colocada em Nível de Emergência 1 “quando detectada anomalia que resulte na pontuação máxima de 10 (dez) pontos em qualquer coluna do Quadro 3 - Matriz de Classificação Quanto à

Categoria de Risco (1.2 - Estado de Conservação), do Anexo V, ou seja, quando iniciada uma ISE [Inspeção de Segurança Especial] e para qualquer outra situação com potencial comprometimento de segurança da estrutura”. Com base na metodologia acima, a barragem reconstruída da Lagoa do Pirocáua deve ter uma pontuação de pelo menos 13 pontos somando 10 pontos para “Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas” (ANM, 2021b) e 3 pontos para “Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados” (ANM, 2021b). Embora o último problema pareça positivo, zero pontos exigiriam “Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem” (ANM, 2017; 2021b).



Figura 12: Reconstrução emergencial do barramento rompido.

Figura 16. Após a falha da barragem, uma barragem de emergência foi construída no local da barragem falhada (comparar com Fig. 6). Segundo informações do site da ANM, todos os problemas que existiram com a barragem falhada ainda estão presentes na barragem reconstruída. Uma vez que a barragem reconstruída é consideravelmente mais baixa do que a barragem falhada, deve-se presumir que o risco de mais falha é ainda maior no momento do que era quando a barragem inicialmente falhou. Foto da ANM (2021a).

DISCUSSÃO

Neste ponto, deve estar claro que a causa raiz da falha da barragem da Lagoa do Pirocáua foi a negligência sistemática. Conforme discutido anteriormente, a história de falha de uma barragem ou qualquer estrutura de engenharia não é simplesmente uma sequência de eventos físicos, mas é acompanhada por uma sequência simultânea de eventos humanos que envolvem uma falha em detectar e/ou mitigar os efeitos dos eventos físicos. No caso da barragem da Lagoa

do Pirocáua, faltou praticamente qualquer inspeção, manutenção e análise de segurança. Verificou-se também a falta de monitoramento, na medida em que, de acordo com a informação fornecida pela Equinox Gold à Agência Nacional de Mineração, os instrumentos de monitoramento eram inadequados, o que não dá indicação do que se estava a monitorizar. Na verdade, a negligência sistemática foi tão completa, e a ruptura da barragem foi tão completa, que é impossível desvendar a sequência de eventos físicos que levaram à falha da barragem.

Além da negligência sistemática da barragem, que levou ao seu rompimento final, houve uma falha no fornecimento de informações relevantes às entidades que poderiam ter insistido na supervisão adequada da barragem. Essas entidades eram a Agência Nacional de Mineração e os investidores da Equinox Gold. A Equinox Gold deve ter sabido que eles foram obrigados a registrar barragens de mineração na Agência Nacional de Mineração, para fornecer dados relevantes para o Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração (SIGBM), e para obter uma Declaração de Condição de Estabilidade, porque fizeram todos os o anterior para a barragem de Vené na mesma mina (ANM, 2021c). Da mesma forma, a barragem da Lagoa do Pirocáua sequer foi mencionada no Technical Report on the Aurizona Gold Mine—Maranhão, Brazil [Relatório Técnico da Mina de Ouro Aurizona—Maranhão, Brasil] (AGP Consultores, 2020), que foi fornecido a investidores, nem a barragem não aparece em nenhum mapa que incluem a localização da barragem.

Com base na negligência sistemática documentada da barragem da Lagoa do Pirocáua, o estado da barragem do Vené na mina de Aurizona deve ser motivo de grande preocupação. Uma revisão da barragem do Vené está além do escopo deste relatório. No entanto, um exame preliminar das informações no site da ANM (2021c) mostra que a barragem do Vené armazena rejeitos da mineração de ouro e tem 35 metros de altura. Embora o “Comprimento da crista do projeto” seja de 3045 metros, o “Comprimento atual da crista” é de 3144 metros (ANM, 2021c). Embora o “Volume de projeto licenciado do Reservatório” seja de 11.600.000,00 metros cúbicos, o “Volume atual do Reservatório” é de 13.461.480,31 metros cúbicos. O site confirma que “Existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas” (ANM, 2021c). O “número de pessoas possivelmente afetadas a jusante em caso de rompimento da barragem” está no intervalo de 1 a 100 (ANM, 2021c).

A Equinox Gold afirmou repetidamente que, embora a tempestade de 10.000 anos tenha causado a falha da barragem da Lagoa do Pirocáua, ela não teve impacto na barragem de rejeitos do Vené ou em qualquer outro aspecto da operação de mineração. De acordo com a Equinox Gold (2021b-c), “Não houve rompimento da barragem de rejeitos. O evento de chuva forte e as inundações regionais resultantes não tiveram impacto nas estruturas operacionais da mina, incluindo nosso pit, barragem de rejeitos e pilhas de estéril, que permanecem intactas e operando normalmente”. De acordo com a Equinox Gold (2021a), “Portanto, a Barragem de Rejeitos do Vené e todas as outras instalações utilizadas para deposição de rejeitos pela empresa, permanecem com todas as suas estruturas operacionais intactas e em regular operação ... Como se observa a partir das informações e dos mapas aqui apresentados, a Barragem do Vené, em que pese as intensas chuvas, **não sofreu qualquer tipo de extravasamento, rompimento, vazamento ou mau funcionamento**” (negrito no original). É difícil entender como uma tempestade de 10.000 anos pode destruir completamente a barragem da Lagoa do Pirocáua, sem afetar a barragem do Vené ou qualquer outro componente da infraestrutura de mineração. Embora o autor deseje que a equipe que administra a barragem do Vené tenha uma cultura e um

conjunto de valores completamente diferentes da equipe que administrou a barragem da Lagoa do Pirocáua, o autor não pode estar otimista sobre isso.

CONCLUSÕES

As conclusões deste relatório podem ser resumidas da seguinte forma:

- 1) A afirmação da Equinox Gold de que a falha da barragem do Lagoa do Pirocáua em 25 de março de 2021 foi causada por 426 mm de chuva nos dias 23 e 24 de março, correspondendo a um evento de precipitação de 10.000 anos, com 112,7 mm, 315 mm e 27 mm de chuva em 23, 24 e 25 de março, respectivamente, é inconsistente com os registros de precipitação de agências governamentais brasileiras.
- 2) De acordo com os mapas de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nenhuma localidade da costa atlântica do estado do Maranhão registrou mais de 150 mm de chuva entre os dias 24 e 28 de março.
- 3) Os mapas de precipitação para o estado do Maranhão do Laboratório de Meteorologia da UEMA, que combinam os registros de chuva da rede do INMET e da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) mostram precipitação total de 400-450 mm para todo o mês de março de 2021 no sítio da mina de Aurizona, que está bem nas normais climatológicas.
- 4) Os mapas de precipitação do Laboratório de Meteorologia indicam valores de precipitação de 10-15 mm, 25-30 mm e 90-95 mm na mina de Aurizona nos dias 23, 24 e 25 de março, respectivamente.
- 5) As estações meteorológicas vizinhas do INMET de Turiaçu (59 quilômetros a sudeste), Tracuateua (128 quilômetros a noroeste) e Capitão Poço (154 quilômetros a sudoeste) receberam chuvas de 48 horas de 41,9 mm, 35,2 mm e 30,8 mm. respectivamente, de 23 a 24 de março, correspondendo a períodos de retorno de 0,3 anos, 0,2 anos e 0,5 anos em cada uma das respectivas estações meteorológicas.
- 6) O evento de precipitação mais extremo em qualquer uma das estações meteorológicas vizinhas do INMET foi a precipitação de 48 horas de 131,1 mm em Turiaçu entre 24 e 25 de março, correspondendo a um período de retorno de 2,3 anos.
- 7) O terremoto mais próximo durante 21-25 de março foi um terremoto de magnitude 4,1 na Guiana, 1.606 quilômetros a noroeste, em 24 de março, de modo que é improvável que a falha da barragem tenha sido causado por atividade sísmica.
- 8) Não há evidências de que a falha da barragem tenha sido causado por galgamento, conforme afirma a Agência Nacional de Mineração (ANM).
- 9) De acordo com informações fornecidas à ANM pela Equinox Gold, o vertedouro da barragem teve problemas identificadas e não foram tomadas medidas corretivas.
- 10) De acordo com informações fornecidas à ANM pela Equinox Gold, os instrumentos de monitoramento eram inadequados e não havia planos de instalação de novos instrumentos.
- 11) De acordo com informações fornecidas à ANM pela Equinox Gold, não havia documentos de projeto, nenhuns manuais nem procedimentos formais de monitoramento e inspeção, nenhum plano de ação de emergência e nenhuma apresentação regular de relatórios de inspeção e monitoramento.
- 12) A barragem da Lagoa do Pirocáua nunca recebeu uma Declaração de Condição de Estabilidade, que é exigida de todas as barragens de mineração no Brasil.

- 13) Antes da falha, a existência da barragem não era mencionada em nenhum documento disponível da empresa de mineração, incluindo documentos fornecidos aos investidores.
- 14) A causa raiz do fracasso da Lagoa do Pirocáua foi a negligência sistemática.
- 15) Uma vez que todos os problemas que existiam com a barragem falhada ainda estão presentes na barragem reconstruída, que é ainda mais baixa do que a barragem falhada, deve-se supor que o risco de falha é ainda maior no momento atual do que era quando a barragem inicialmente falhou.

RECOMENDAÇÕES

As recomendações deste relatório podem ser declaradas da seguinte forma:

- 1) A Equinox Gold deve reconhecer sua responsabilidade pela falha da barragem da Lagoa do Pirocáua.
- 2) A Equinox Gold deve indenizar integralmente os moradores da vila de Aurizona por todos os danos decorrentes da falha da barragem da Lagoa do Pirocáua, incluindo o fornecimento de abastecimento de água alternativo, se necessário.
- 3) A Equinox Gold deve tomar todas as medidas necessárias para evitar a falha da reconstruída barragem da Lagoa do Pirocáua.

SOBRE O AUTOR

O Dr. Steven H. Emerman tem um B.S. em Matemática pela Universidade Ohio State, M.A. em Geofísica pela Universidade Princeton, e Ph.D. em Geofísica da Universidade Cornell. O Dr. Emerman tem 31 anos de experiência no ensino de hidrologia e geofísica, incluindo o ensino como professor Fulbright no Equador e no Nepal, e tem 70 publicações avaliadas por pares nessas áreas. O Dr. Emerman é o proprietário da Malach Consulting, especializada em avaliar os impactos ambientais da mineração para empresas de mineração, bem como organizações governamentais e não-governamentais. O Dr. Emerman avaliou barragens de mineração propostas e existentes na América do Norte, América do Sul, Europa, África, Ásia e Oceania, e testemunhou sobre barragens de mineração perante o Subcomitê de Povos Indígenas dos Estados Unidos da Câmara dos Representantes dos Estados Unidos e o Fórum Permanente das Nações Unidas sobre Questões Indígenas. O Dr. Emerman é o Presidente do Subcomitê do Corpo de Conhecimento da Sociedade de Barragens dos EUA e um dos autores de A Segurança em Primeiro Lugar: Diretrizes para Gestão Responsável de Rejeitos de Mineração.

Steven H. Emerman

REFERÊNCIAS

AGP Mining Consultants Inc., 2020. Technical Report on the Aurizona Gold Mine—Maranhão, Brazil [Relatório Técnico da Mina de Ouro Aurizona—Maranhão, Brasil]: Relatório elaborado a pedido da Equinox Gold, data efetiva 24 de janeiro de 2020, data do relatório 27 de abril de 2020, 375 p. Disponível online em:

- Angelo, M., 2021. Barragem de mineradora canadense afeta a vida de milhares de pessoas no Maranhão: Mongabay, 5 de maio de 2021. Disponível online em:
- ANM (Agência Nacional de Mineração [National Mining Agency]), 2017. Portaria N° 70.389, de 17 de Maio de 2017 [Ordinance No. 70.389 of May 17, 2017], 40 p. Available online at: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/documentos/portaria-dnpm-no-70-389-de-17-de-maio-de-2017-seguranca-de-barragens-de-mineracao/view>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2021a. Report Mensal—Barragens de Mineração—Março 2021, 13 p. Disponível online em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/boletim-de-barragens-de-mineracao/arquivos/report-mensal-marco-v3.pdf>
- ANM (Agência Nacional de Mineração, 2021b. SIGBM - Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração—Lagoa do Pirocáua. Disponível online em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/BarragemPublico/Detalhar/C4C2A54786D3FB8F517314020C31910A1E30AD6C72A1C7EFA3719D74B1E38E4A>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2021c. SIGBM - Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração—Barragem do Vené. Disponível online em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/BarragemPublico/Detalhar/ABBC73C573D82BB8C082B827D7CC150239ABA6A86FC18A616F65CAD941601EF8>
- ANM (Agência Nacional de Mineração), 2021d. SIGBM - Sistema Integrado de Gestão de Barragens de Mineração—Classificação Nacional de Barragens de Mineração. Disponível online em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/ClassificacaoNacionalDaBarragem>
- Association of State Dam Safety Officials [Associação de Funcionários Estaduais de Segurança de Barragens], 2021a. Lessons Learned from Dam Incidents and Failures [Lições Aprendidas com Incidentes e Falhas em Barragens]. Disponível online em: <https://damfailures.org/lessons-learned/high-and-significant-hazard-dams-should-be-design-to-pass-an-appropriate-design-flood-dams-constructed-prior-to-the-availability-of-extreme-rainfall-data-should-be-assessed-to-make-sure-they-have-ad/>
- Association of State Dam Safety Officials [Associação de Funcionários Estaduais de Segurança de Barragens], 2021b. Lessons Learned from Dam Incidents and Failures [Lições Aprendidas com Incidentes e Falhas em Barragens]. Disponível online em: <https://damfailures.org/lessons-learned/earth-and-rockfill-embankment-dams-must-be-stable-under-the-full-range-of-anticipated-loading-conditions/>
- Bianchi, M., M. Assumpção, M. Rocha, J. Carvalho, P. Azevedo, S. Fontes, F. Dias, J. Ferreira, A. Nascimento, M. Ferreira, e I. Costa, 2018. The Brazilian Seismographic Network (RSBR)—Improving seismic monitoring in Brazil [A Rede Sismográfica Brasileira—Melhorando o monitoramento sísmico no Brasil]: Seismological Research Letters, vol. 89, pp. 452–457.
- Centro de Informação sobre Empresas e Direitos Humanos, 2021. Brasil— Possível rompimento de barragem na maior reserva de ouro do país deixa população sem acesso à água no Maranhão; contém resposta da Equinox Gold: 18 de abril de 2021. Disponível online em: <https://www.business-humanrights.org/pt/%C3%BAltimas-not%C3%ADcias/brasil-barragem-rompe-na-maior-reserva-de-ouro-do-pa%C3%ADs-em-godofredo-viana-no-maranh%C3%A3o/>
- Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo, 2021. Obtendo Catálogos. Disponível online em: <http://moho.iag.usp.br/rq/event>

- Equinox Gold, 2021a. ENC: Processo nº 00135.206590/2021-90 - SEI nº 1999576: Email de Leonardo Andre Gandara (Equinox Gold) para Secretaria Executiva do Conselho Nacional dos Direitos Humanos (CNDH, datado de 5 de abril de 2021, 135 p.
- Equinox Gold, 2021b. Resposta da Equinox Gold: Datado de 14 de abril de 2021, 2 p. Disponível online em: https://media.business-humanrights.org/media/documents/2021-04-14_Equinox_Gold_Response.pdf
- Equinox Gold, 2021c. Resposta da Equinox Gold's para a réplica: Datado de 6 de maio de 2021, 1 p. Disponível online em: https://media.business-humanrights.org/media/documents/2021-05-06_-_Business_Human_Rights_-_Equinox_Gold_-_Portuguese.pdf
- Fell, R., P. MacGregor, D. Stapledon, G. Bell, e M. Foster, 2015. Geotechnical engineering of dams [Engenharia geotécnica de barragens], 2nd ed.: CRC Press, 1348 p.
- Fisher, W.D., T.K. Camp, y V.K. Krzhizhanovskaya, 2017. Anomaly detection in earth dam and levee passive seismic data using support vector machines and automatic feature selection [Detecção de anomalias em dados sísmicos passivos de barragens e diques de terra usando máquinas de vetores de suporte e seleção automática de recursos]: Journal of Computational Science, v. 20, pp. 143-153.
- Governo do Maranhão—Agência de Notícias, 2021. SEMA adota medidas de fiscalização e controle para amenizar danos após alagamento em Godofredo Viana Disponível online em: <https://www.ma.gov.br/agenciadenoticias/?p=301647>
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021a. Mapa das Estações. Disponível online em: <https://mapas.inmet.gov.br/>
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021b. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível online em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, 2021c. Informativo Meteorológico N°12/2021: 29 de março de 2021, 5 p. Disponível online em: <https://portal.inmet.gov.br/informativos>
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia [National Institute of Meterology]), 2021d. Informativo Meteorológico N°11/2021: 22 de março de 2021, 4 p. Disponível online em: <https://portal.inmet.gov.br/informativos>
- Lycopodium Minerals Canada Ltd., 2017. Feasibility Study on the Aurizona Gold Mine Project, Maranhão, Brazil—NI 43-101 Technical Report [Estudo de Viabilidade do Projeto da Mina de Ouro Aurizona, Maranhão, Brasil—Relatório Técnico NI 43-101]: Relatório elaborado a pedido da Trek Mining, julho de 2017, 450 p. Disponível online em: https://www.miningdataonline.com/reports/Aurizona_2017_FS.pdf
- Núcleo Geoambiental, 2021a. Avilação Mensal de Chuva (março de 2021): Laboratório de Meteorologia, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Disponível online em: <https://www.nugeo.uema.br/?p=30014#prettyPhoto>
- Núcleo Geoambiental, 2021b. Chuvas do dia 22/03/2021: Laboratório de Meteorologia, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Disponível online em: <https://www.nugeo.uema.br/?p=29676>
- Núcleo Geoambiental, 2021c. Chuvas do dia 23/03/2021: Laboratório de Meteorologia, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Disponível online em: <https://www.nugeo.uema.br/?p=29716>
- Núcleo Geoambiental, 2021d. Chuvas do dia 24/03/2021: Laboratório de Meteorologia, Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. Disponível online em: <https://www.nugeo.uema.br/?p=29724>

SEMA (Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais), 2021. SEMA adota medidas de fiscalização e controle para amenizar danos após alagamento em Godofredo Viana.

Disponível online em: <https://www.sema.ma.gov.br/p9870/>

Touma, D., A. Michalak, D. Swain, e N. Diffenbaugh, 2018. Characterizing the spatial scales of extreme daily precipitation in the United States [Caracterizando as escalas espaciais de precipitação diária extrema nos Estados Unidos]: *Journal of Climate*, vol. 31, pp. 8023-8037. Available online at: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/31/19/jcli-d-18-0019.1.xml>

Watson, I. e A.D. Burnett, 1995. *Hydrology—an environmental approach* [Hidrologia—uma abordagem Ambiental]: Boca Raton, Flórida, CRC Press, 702 p.

ANEXO

Tabela A1. Precipitação máxima anual ao longo de 24, 48 e 72 horas: Turiaçu¹

Posição	24 Horas		48 Horas		72 Horas	
	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1	2008	218,2	2009	261,1	2009	328,5
2	1985	191,9	2008	233,8	2016	273,8
3	2009	174,2	1985	204,9	2002	238,2
4	2002	173,3	1977	196,4	2008	236,4
5	1979	172,2	1987	183,2	1977	223,5
6	2006	166,9	2005	181,6	1985	205,7
7	2011	154,9	2002	176,5	1980	199,8
8	1977	149,2	2016	174,7	2011	193,8
9	2016	145,0	2006	174,0	2001	192,5
10	1987	138,4	1979	172,2	1987	192,2
11	1991	138,3	2011	168,3	2005	189,4
12	1996	129,6	1991	153,3	1979	187,5
13	2018	128,1	1996	146,1	2019	186,9
14	2005	126,6	2018	144,8	2006	186,2
15	1990	120,0	1990	137,1	1991	179,5
16	1986	119,4	2001	136,6	1998	162,6
17	1989	114,6	1980	135,4	2007	161,6
18	1997	113,0	1982	131,7	1986	159,9
19	2010	111,5	1989	130,8	1990	154,2
20	2001	111,2	1986	129,2	2018	153,8
21	2000	110,6	2010	128,1	2004	153,6
22	1981	108,6	2015	126,7	1996	149,9
23	1992	107,6	1998	125,7	1982	149,5
24	2003	107,1	2019	125,0	1981	141,9
25	1980	104,4	1994	120,9	1989	139,4
26	2014	101,6	2004	120,4	2010	138,5
27	1982	100,3	1981	119,8	1992	136,2
28	2015	99,5	2020	119,7	2014	134,9
29	2020	99,1	1997	116,7	2017	133,7

30	1978	98,4	2003	115,2	2003	133,2
31	1993	93,6	2013	115,1	1994	133,1
32	1998	92,7	2007	113,9	1995	132,2
33	1995	92,0	2014	113,6	2020	131,3
34	2012	88,8	1995	112,5	2015	127,9
35	2019	88,4	2000	110,9	1988	126,3
36	1994	87,5	1992	108,0	1997	125,5
37	2017	86,2	1999	107,8	1978	121,1
38	2013	84,1	1993	107,1	2013	116,5
39	2004	76,6	2017	101,6	1999	113,8
40	1983	75,3	1978	100,6	1993	110,9
41	1999	74,8	1988	97,4	2000	110,9
42	1988	66,0	2012	89,1	2012	106,7
43	1984	65,2	1984	85,5	1984	105,9
44	2007	58,0	1983	78,3	1983	84,0

¹Com base em dados de precipitação diários do INMET (2021b)

Tabela A2. Precipitação máxima anual ao longo de 24, 48 e 72 horas: Tracuateua¹

Posição	24 Horas		48 Horas		72 Horas	
	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1	2008	207,2	2019	257,0	2019	308,8
2	1995	173,2	2008	230,9	1974	303,4
3	1983	172,2	2004	217,6	1992	279,4
4	2019	170,6	1974	217,1	2004	268,6
5	2018	167,0	1992	211,2	1995	259,3
6	1986	154,3	2018	210,2	2018	257,8
7	2011	146,6	2007	196,4	1986	242,1
8	1984	144,1	2011	189,0	2008	240,1
9	2007	142,7	2009	187,9	2003	224,8
10	2003	138,4	1995	186,3	2007	222,5
11	1992	132,5	1983	182,4	1980	208,0
12	1975	132,3	2016	178,3	1985	204,0
13	1999	130,4	1988	173,5	1991	201,9
14	2004	125,4	1986	171,3	2009	201,3
15	1988	120,6	2003	167,2	1983	197,0
16	2015	120,2	1975	165,7	2011	195,2
17	2002	119,2	1977	160,7	2016	192,0
18	1985	119,0	1985	158,6	1988	189,8
19	2009	118,2	1980	153,9	1990	183,8
20	1974	117,2	2000	153,4	1977	183,3
21	1997	115,3	1990	153,2	1975	179,5
22	1987	112,2	1987	152,5	2000	172,9
23	1994	110,7	1997	150,9	1987	168,6
24	1991	108,3	1978	150,1	1997	166,2
25	2016	107,3	1994	148,0	1979	163,2

26	1973	100,0	1991	145,7	1994	157,3
27	1978	92,5	1984	144,1	2001	153,7
28	2006	91,2	1999	138,8	1999	153,2
29	2020	89,2	2001	134,9	1978	150,3
30	1998	85,9	2015	131,1	1998	148,7
31	1981	85,1	1982	130,1	1993	148,3
32	1977	84,0	2002	121,3	1982	147,7
33	1980	83,9	1996	120,2	2002	147,1
34	1982	82,2	1979	118,2	2015	145,6
35	2001	81,0	2017	116,3	1981	144,8
36	2017	80,2	2020	115,6	1984	144,1
37	2000	79,1	1998	114,1	2006	143,4
38	1996	78,9	1993	110,6	1976	143,3
39	1990	78,0	2006	109,1	2020	140,1
40	1979	76,8	1976	107,3	1996	135,9
41	2013	75,8	1981	105,8	2017	129,9
42	1976	74,3	2005	105,6	2005	129,2
43	2005	73,6	1973	104,7	1989	117,7
44	1993	73,4	2010	98,2	2014	115,5
45	1989	71,8	2014	92,2	2010	108,7
46	2010	67,0	2013	90,9	2013	105,3
47	2014	66,7	1989	85,2	1973	104,7
48	2012	56,1	2012	75,6	2012	93,8

¹Com base em dados de precipitação diários do INMET (2021b)

Tabela A3. Precipitação máxima anual ao longo de 24, 48 e 72 horas: Capitão Poço¹

Posição	24 Horas		48 Horas		72 Horas	
	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1	2018	143,4	2018	163,2	2018	362,8
2	2019	107,0	2019	131,8	2019	266,0
3	2013	90,8	2013	111,8	2020	255,0
4	2015	88,8	2020	104,6	2013	241,0
5	2020	80,2	2015	92,0	2015	188,8
6	2014	66,6	2012	81,8	2012	179,6
7	2017	56,0	2014	74,4	2016	171,6
8	2012	53,2	2016	72,0	2014	163,8
9	2016	50,8	2017	66,8	2017	163,6

¹Com base em dados de precipitação diários do INMET (2021b)