

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO – REPO

**DESLIZAMENTO EM TALUDE FLUVIAL NO PORTO JP,
BAIRRO TRIÂNGULO, PORTO VELHO-RO**



VISTORIA TÉCNICA

AGOSTO/2016

DESLIZAMENTO EM TALUDE FLUVIAL NO PORTO JP, BAIRRO TRIÂNGULO, PORTO VELHO-RO

VISTORIA TÉCNICA

Equipe Técnica Executora:

Renato Ribeiro Mendonça

Eng. Geólogo - Pesquisador em Geociências

Amilcar Adamy

Geólogo - Pesquisador em Geociências

José Antônio da Silva

Geólogo - Pesquisador em Geociências

Giancarlo Bonotto

Eng. Ambiental - Pesquisador em Geociências

Franco Turco Buffon

Eng. Civil - Pesquisador em Geociências

Foto de capa: Deslizamento tema deste relatório, tomada no dia 14/08/2016

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO EVENTO DE MOVIMENTO DE MASSA	4
3. TRABALHOS ANTERIORES E HISTORICO DE EVENTOS RELATIVOS À ÁREA	6
4. BREVE DISCUSSÃO GEOLÓGICA E GEOTECNICA: AGENTES DEFLAGRADORES E CONDIÇÕES DE CONTORNO	8
4.1. FISIOGRAFIA E NATUREZA DO SUBSTRATO.....	8
4.2. EROÇÃO FLUVIAL ASSOCIADO AO EFEITO “PORO PRESSÃO OU PRESSÃO HIDROSTÁTICA”	11
4.3. DESMATAMENTO DA ENCOSTA	13
4.4. DRENAGEM E HIDROLOGIA LOCAL	13
4.5. SOBRECARGA DO TERRENO.	15
5. PÓS-ROMPIMENTO	17
6. SUGESTÕES À MITIGAÇÃO DO PROBLEMA OBSERVADO	21
7. CONCLUSÕES	22
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1. INTRODUÇÃO

A realização do presente documento objetiva relatar os aspectos geológicos e geotécnicos observados pela equipe técnica da CPRM em relação ao deslizamento ocorrido na data de 13 de agosto de 2016, no porto e estaleiro JP, localizado na margem direita do rio Madeira, a jusante da UHE Santo Antônio, no município de Porto Velho (Figura 1). O deslizamento, segundo moradores locais, ocorreu no final da tarde do dia mencionado atingindo uma área ocupada por um empreendimento portuário que, na ocasião, realizava a carga e descarga de material aparentemente derivado de petróleo. Constatou-se, *in loco*, que a área estava sendo utilizada como pátio de estacionamento de caminhões, correspondendo a principal área afetada.



Figura 1. Movimentação de massa de forma abrupta, levado a perda de material.

O deslocamento de massa atingiu um volume significativo, tendo se manifestado de maneira abrupta, gerando prejuízos materiais e ambientais. A equipe de Hidrologia e Gestão Territorial da CPRM - Residência de Porto Velho esteve no local nos dias 14, 15 e 18/08/16, procedendo a vistorias técnicas. Buscou-se reconhecer as condicionantes e condições de contorno que levaram ao colapso do terreno, as quais serão discutidas neste trabalho. Este relatório também visa propor ações de mitigação a futuros danos de distinta natureza e preservação da margem do rio neste local.

2. LOCALIZAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO EVENTO DE MOVIMENTO DE MASSA

O evento de movimento de massa ocorreu no local denominado Porto JP, situado na margem direita do rio Madeira na Rua Farquar, próximo ao número 1356, bairro Triangulo, Município de Porto Velho-RO (Figura 2), o qual dista cerca de cinco quilômetros à jusante da barragem da UHE Santo Antônio em uma margem côncava do rio (Figura 3). Em drenagens meandrantas, as margens côncavas tendem a ser locais de

processos erosivos acentuados pela dinâmica fluvial. Considerando a susceptibilidade natural a processos erosivos sobre terrenos inconsolidados do local, a empresa Santo Antônio Energia executou no local uma barreira de enrocamento adensado, contenção do tipo muro gravidade, para que se diminua o efeito erosivo nas margens do rio. Entretanto, esta medida não foi suficiente para conter a movimentação ocorrida no dia 13/08/2016.



Figura 2. Localização da ocorrência. Identificação da área movimentada em cor vermelha e trincas de cisalhamento reconhecidas em campo em cor roxa.

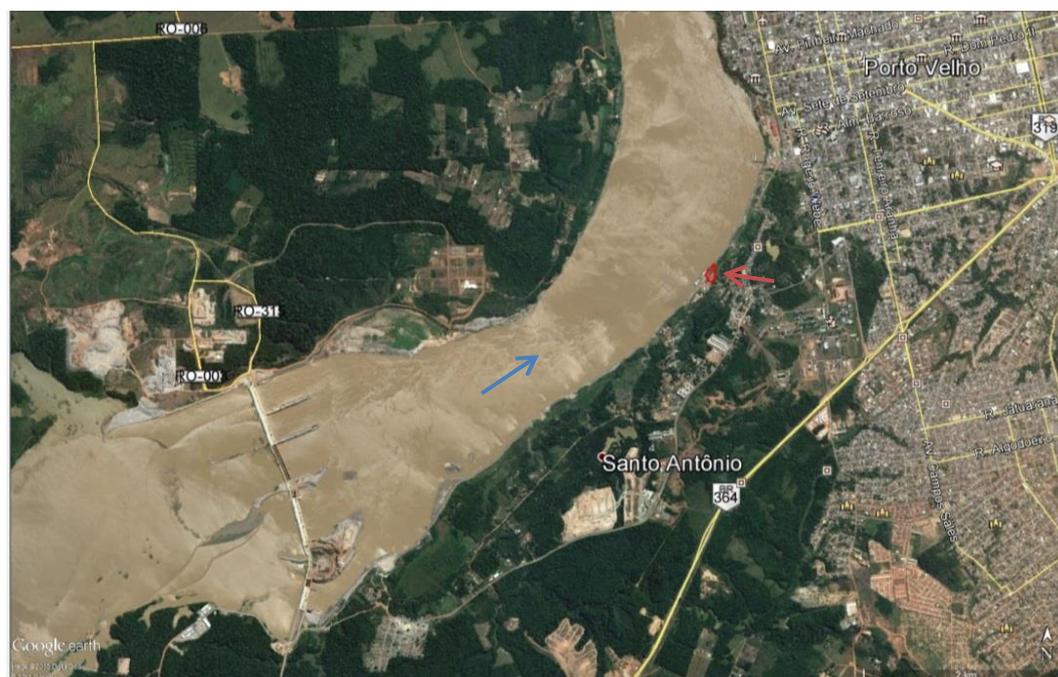


Figura 3. Área onde ocorreu o deslizamento (seta vermelha) em margem côncava do rio Madeira, distante 5 km a jusante da UHE Santo Antônio e próxima ao centro urbano de Porto Velho. Sentido de fluxo do rio indicado pela seta azul.

3. TRABALHOS ANTERIORES E HISTORICO DE EVENTOS RELATIVOS À ÁREA

No intuito de promover uma redução geral das perdas humanas e materiais, o Governo Federal, em ação coordenada pela Casa Civil da Presidência da República e em consonância com o Ministério da Integração Nacional, Ministério das Cidades, Ministério de Ciência e Tecnologia, Ministério da Defesa e o Ministério de Minas e Energia firmaram convênios de colaboração mútua para executar em todo o país o diagnóstico e o mapeamento das áreas com potencial de risco alto a muito alto a movimentos de massa e enchentes. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais- CPRM foi designada para executar este programa por possuir quadro técnico qualificado e por ter uma atuação a nível nacional. O resultado final deste mapeamento é incorporado em um banco de dados central que subsidia ações dos órgãos CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres), CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) e Caixa Econômica Federal.

O mapeamento das áreas de risco da cidade de Porto Velho foi executado na primeira fase do programa no ano de 2012, destacando-se que o local onde ocorreu o presente deslizamento já havia sido considerado como uma área de risco MUITO ALTO a processos de deslizamentos e erosões fluviais (Figura 4). Este mapeamento já indicava como ação necessária a este problema a desapropriação e remoção da população local. Esta recomendação foi atendida parcialmente, com a retirada de algumas ocupações, permanecendo, no entanto, diversos moradores e a própria operação do porto.



Figura 4. Mapa executado pela CPRM em 2012: Setor RO_PVH_SR_01A_CPRM já indicando residências e imóveis em situação de risco a erosões fluviais (CPRM, 2012).

No ano de 2014, em resposta a inundação histórica ocorrida, a CPRM-REPO fez a complementação do trabalho publicado em 2012 gerando novos mapas com a indicação das áreas afetadas pelo aporte de água fluvial (Figura 5). O local onde ocorreu o presente deslizamento foi novamente indicado como uma área de risco ALTO a inundação e MUITO ALTO para deslizamentos. Áreas de orla fluvial e suas adjacências que são esporadicamente inundadas são caracterizadas por um processo erosivo potencializado, assunto que será abordado no Capítulo 4 deste relatório. As principais ações indicadas para mitigação correspondem a melhoria de infraestrutura e controle urbano para a construção de imóveis em locais de planície de inundação. Uma nova atualização das áreas de risco da cidade de Porto Velho está em fase de elaboração, devendo estar concluída em 2016.

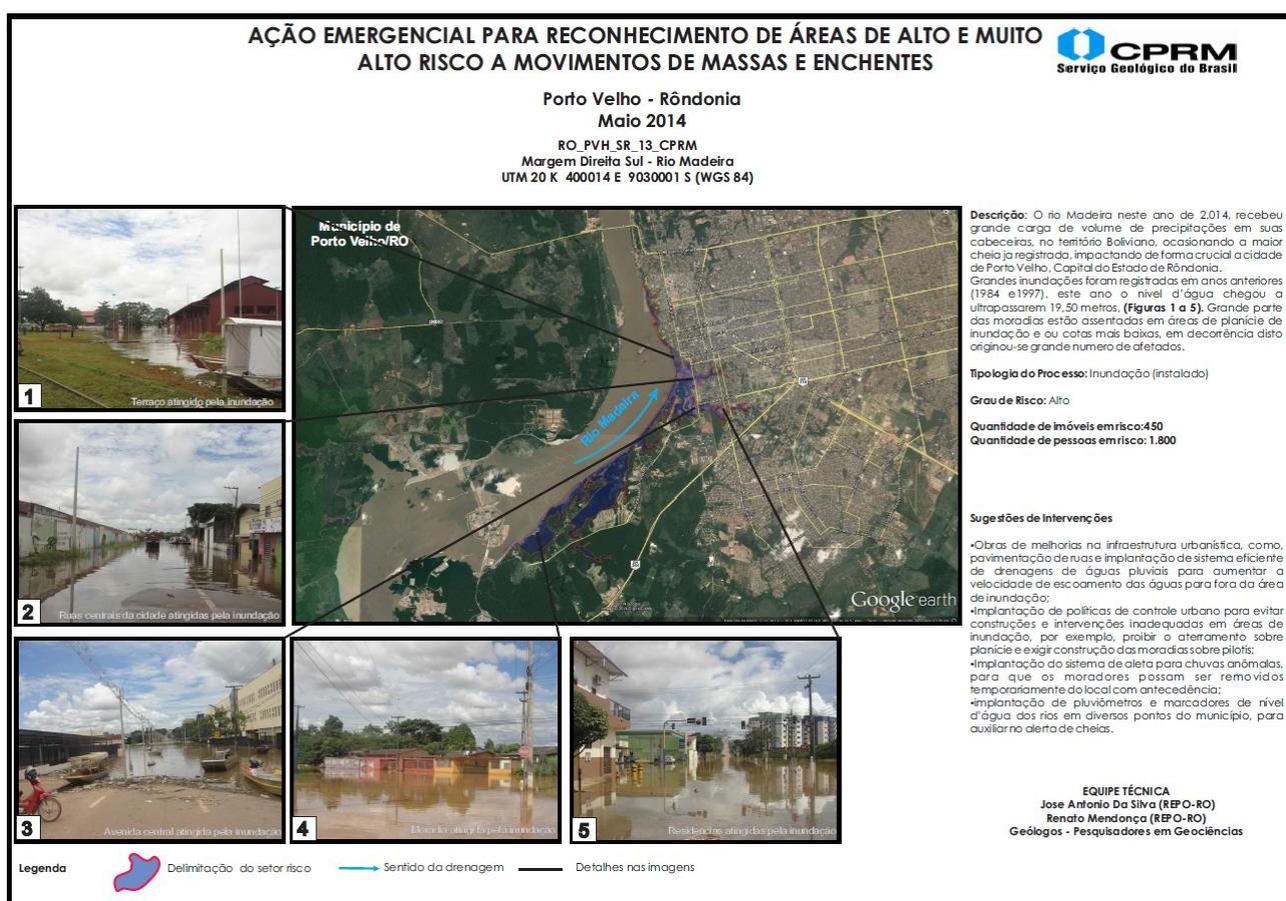


Figura 5. Mapa executado pela CPRM em 2014: Setor RO_PVH_SR_13_CPRM já indicando residências e imóveis em situação de risco a erosões fluviais (MENDONÇA e SILVA, 2015).

Além disto, áreas adjacentes ao deslizamento ocorrido possuem um histórico de movimentações gravitacionais de terra e processos erosivos. Como exemplo, pode ser mencionado o deslizamento que ocorreu ao final da Avenida Farquar (Figura 6). Neste local, fotos obtidas através da utilização de um drone identificam um deslizamento de menor magnitude, porém morfológicamente análogo ao observado no Porto JP. Nota-se que, mesmo com a execução de uma contenção de enrocamento adensado, não foi suficiente para estabilizar o terreno.



Figura 6. Foto tomada com um Drone ao final da Av. Farquar, cerca de 1 km do deslizamento ocorrido no porto JP. A morfologia da movimentação de massa aparenta ser análoga, porém com um volume menor de material aluído.

4. BREVE DISCUSSÃO GEOLÓGICA E GEOTECNICA: AGENTES DEFLAGRADORES E CONDIÇÕES DE CONTORNO.

O deslizamento ocorrido na margem direita do rio Madeira nas dependências do Porto JP atingiu um volume considerável causando danos materiais e ambientais. Através da visita técnica realizada nos dias 14, 15 e 18 de agosto de 2016 foi possível observar e registrar fatores e condições que contribuem com a instabilidade do terreno. Verifica-se que as somatórias destes fatores nortearam e condicionaram ao colapso do solo. Estes fatores são discutidos logo a seguir, sem estarem vinculados a uma maior ou menor importância.

Vale enfatizar que alguns autores associam a instabilidade de taludes fluviais a reativações neotectônicas (IGREJA et al., 2007) e apesar do rio Madeira, no trecho compreendido entre a Vila de Abunã-RO e Itacoatiara-AM, estar controlado pelo lineamento Madre de Dios – Itacoatiara, não se caracterizou nenhuma correlação local que possa estabelecer vínculo com uma eventual movimentação estrutural.

4.1. Fisiografia e Natureza do Substrato

Do ponto de vista morfológico a área é caracterizada por uma planície aluvial topograficamente aplainada pela deposição de aterro de cascalho laterítico, favorecendo conseqüentemente sua utilização como pátio de estacionamento. Lateralmente, identifica-se uma área aplainada naturalmente, podendo representar um terraço fluvial, de extensão reduzida. Afastando-se da margem do rio Madeira, ocorrem colinas dissecadas, de topo tendendo a tabular e onde se assentam diversas construções. É importante

mencionar que as encostas declivosas destas colinas direcionam-se para a planície aluvial, contribuindo para a circulação de águas pluviais e servidas, tanto superficialmente como de forma subterrânea.

O contexto geológico da área é constituído predominantemente por sedimentos arenoargilosos inconsolidados, de coloração escura (presença de matéria orgânica) e de natureza geomecânica frágil (Figura 7), ocupando a planície de inundação. É interessante levantar a hipótese de que foram sedimentados em decorrência da grande inundação de 2013/2014, que invadiu totalmente a área ocupada atualmente pelo empreendimento portuário. Estes sedimentos foram cobertos posteriormente por uma camada de cascalho laterítico de espessura variável (0,30 m a 1,5 m), de grande aplicação no revestimento de vias urbanas e terrenos inconsolidados e irregulares. Substratos com tal natureza não são indicados para ocupação e construção de instalações sem obras de fundações adequadas. Neste caso, devido à proximidade do rio, não é recomendável sua ocupação por edificações.



Figura 7. Interfácies dos sedimentos arenoargilosos escuros e cascalho laterítico.

Ainda integrado a área de deslizamento, observa-se um pacote de sedimentos arenoargilosos acinzentados, inconsolidados e altamente suscetíveis a deslizamentos (Figura 8 e Figura 9). Corresponde ao local inicial do movimento de massa ocorrido no dia 13 de agosto de 2016.



Figura 8. Substrato caracterizado por natureza geomecânica frágil e friável.



Figura 9. Bancos de sedimento inconsolidado adjacentes ao deslizamento. Notar o muro de gravidade de enrocamento executado no sopé da encosta

4.2. Erosão Fluvial Associada ao Efeito “Porosidade ou Pressão Hidrostática”.

A erosão fluvial é um processo natural associado à dinâmica de um rio, tendo a intensidade deste processo condicionado ao seu porte e ao substrato no qual ele se encontra. Morfologicamente, rios que apresentam meandros tendem a erodir margens côncavas e depositar sedimentos em margens convexas. O local do deslizamento está situado na margem direita côncava do rio Madeira (Figura 10) e em área de cotas baixas inundáveis denominadas planícies de inundação.



Figura 10. Porto JP em foto tomada em 02 de julho de 2016 pouco antes do deslizamento

No intuito de aperfeiçoar o conhecimento sobre a dinâmica fluvial do rio Madeira e o processo erosivo atuante no leito e nas margens do rio, a CPRM elaborou um programa de levantamentos batimétricos sistemáticos ao longo do seu trajeto, permitindo identificar de maneira preliminar o comportamento do fundo do rio em resposta a ação erosiva promovida pelas águas fluviais. Esta batimetria foi iniciada no ano de 2013 e os mapas apresentados sequencialmente representam o ciclo de processos erosivos manifestados no período de 2013 e 2016 (Figura 11)

Na Figura 11 podem ser observadas as seguintes características relativas ao leito do rio na região de interesse em ordem crescente de passagem de tempo: Figura 11.A (BARBOSA et al., 2014), levantamento batimétrico realizado em junho/13, verifica-se que a área do leito do rio a frente do porto JP estava com altitude entre 35 a 45 metros; Figura 11.B (BARBOSA et al., 2014), levantamento batimétrico realizado em junho/14 mostra na mesma área uma altitude entre 25 a 35 metros, com áreas adjacentes em torno de mesma cota, temos que houve carreamento de sedimento ocorrido neste intervalo; Figura 11.C (PINHEIRO et al., 2015), levantamento batimétrico realizado em maio/15, verifica-se profundidade entre 25 a 37 metros e áreas adjacentes entre 17 e 21 metros, ou seja, a sedimentação no local foi muito pequena, ao passo que nas áreas adjacente ocorreu um volume considerável de carreamento de material, dando um aspecto longitudinal as feições topográficas encontradas.; Figura 11.D (PINHEIRO et al., 2016), levantamento batimétrico realizado em maio/16, verifica-se praticamente inalterada estando entre 25 a 35 metros no local, porém cotas entre 20 e 25 nas áreas adjacentes, denotando-se que ocorreu novo ciclo de sedimentação.

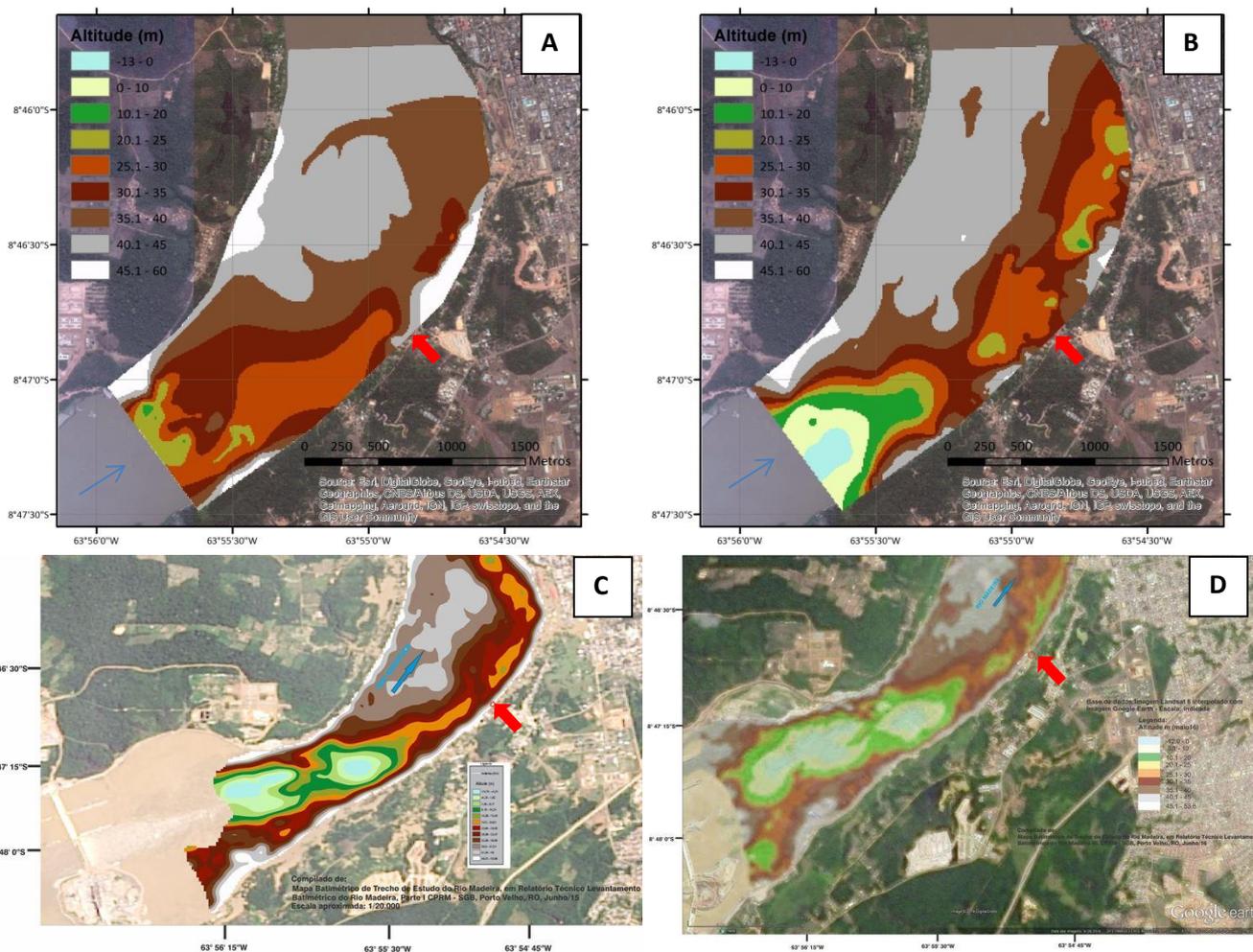


Figura 11. Levantamentos Batimétricos realizados nos anos de 2013 a 2016, (A 2013/B 2014) com utilização de Imagens orbitais, Source; ESRI, DigitalGlobe, GeoRye,i-cubed, Earthstar Geographics, CNEC/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, Swisstopo and the Gis User Community, Datum Sirgas 2000 GoogleEarth; (C 2.015) Imagens Landsat 8, Datum Sirgas 2000 e (D 2.016) Imagens Landsat 8 interpolada com imagem Google Earth, Datum Sirgas 2000

A caracterização do substrato local revelou a natureza geomecânica frágil e erodível. Os sedimentos predominantes apresentam uma textura arenoargilosa, composto predominantemente por areia muito fina e silte/argila, friáveis, granulometria fina e com permeabilidade aparentemente reduzida. Sabe-se que a estabilidade de uma encosta formada por material pedológico é definida pela umidade ótima do substrato, onde esta umidade atua como agregador de partículas gerando assim a propriedade de coesão. Em períodos de inundação pode ocorrer a supersaturação do substrato, elevando a umidade e provocando o desarranjo das partículas. No período subsequente de vazante, as partículas perdem a coesão o que favorece o colapso dos sedimentos. Este fenômeno é conhecido como efeito de “poro pressão ou pressão hidrostática”.

Um caso análogo foi identificado no distrito de Calama, onde o efeito da “poro pressão ou pressão hidrostática”, com saturação do solo arenoargiloso em período de chuvas, favoreceu o desmoronamento e desabamento da margem direita do rio Madeira (ADAMY, 2013).

4.3. Desmatamento da Encosta

Como mencionado anteriormente, as margens côncavas do rio são caracterizadas por serem sítios preferenciais dos processos erosivos fluviais e pluviais. Entretanto, a intensidade do processo é minimizada pela presença de uma cobertura vegetal densa, o que reduz a velocidade de atuação dos agentes erosivos. Assim, a vegetação ajuda a fixar o solo e atua como um dissipador de energia das águas pluviais, diminuindo o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial, favorecendo ao mesmo tempo a infiltração lenta das águas. Dessa forma, a remoção da cobertura vegetal, nativa ou não, atua como um fator agravante e acelerador do processo erosivo. Na área do Porto JP, a análise de imagens temporalmente diferenciadas desde o ano de 2013, caracteriza plenamente o avanço gradual do desmatamento nos últimos anos e o consequente aumento da área útil do porto, inclusive com a abertura de um pátio de estacionamento (Figura 12), potencializando significativamente a ação erosiva e a percolação de águas pluviais.

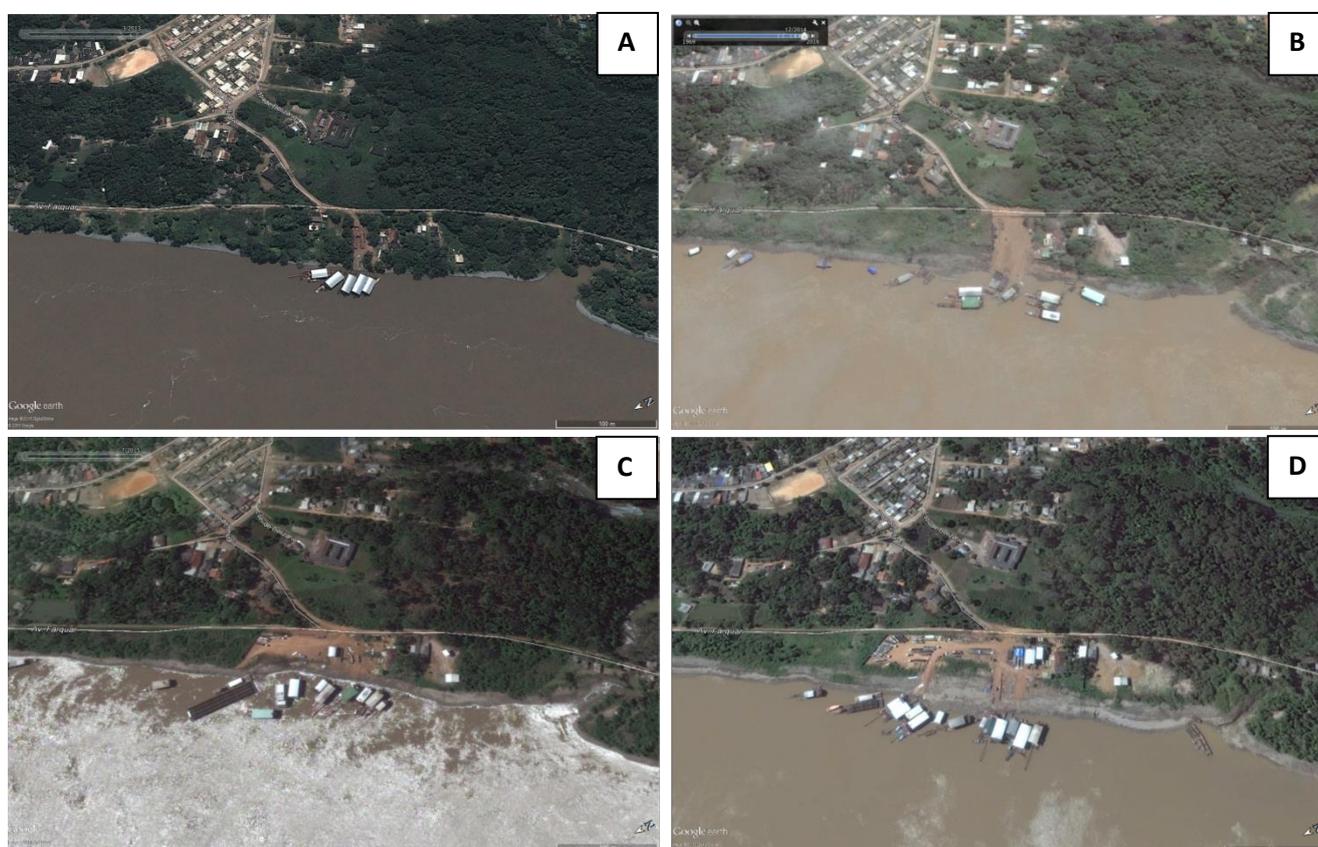


Figura 12. Imagem orbital GoogleEarth em ordem crescente de passagem de tempo: A – Imagem tomada em março de 2013. Área de atividade do porto pequena em relação à área de vegetação; B – Imagem de dezembro de 2014 pós-cheia histórica. Notar avanço do desmatamento da vegetação de grande porte e sinais de erosões adjacentes; C – Imagem de julho de 2015. Aumento da Área efetiva do porto e de aterro. Apenas vegetação arbustiva predomina na vertente; D – Imagem atual com ampliação da área aterrada do porto e desmatamento também das vertentes do igarapé anexo à instalação.

4.4. Drenagem e Hidrologia local

A análise do histórico dos níveis fluviométricos do rio Madeira, apresentado na Figura 13, revela que o local do desbarrancamento foi submetido a duas cheias importantes nos anos de 2014 e 2015, sendo que a primeira representou a máxima histórica. Estas cheias possivelmente afetaram a estrutura do leito do rio, da

base de suas margens, assim como a estrutura do enrocamento adensado. Portanto, a influência destas cheias pode ter potencializado o processo de desbarrancamento. Além disso, o ano de 2016 tem apresentado uma estiagem muito severa, a qual tem se aproximado da maior estiagem registrada para o mês de Agosto, demonstrando assim que o efeito da “poro pressão”, descrito a miúdo no item 4.2 deste trabalho, pode ter sido relevante no processo de colapso da margem do rio. Adicionalmente, o baixo nível das águas do rio Madeira reduz o empuxo exercido pela coluna de água sobre os taludes da margem do rio, facilitando assim o movimento de massas.

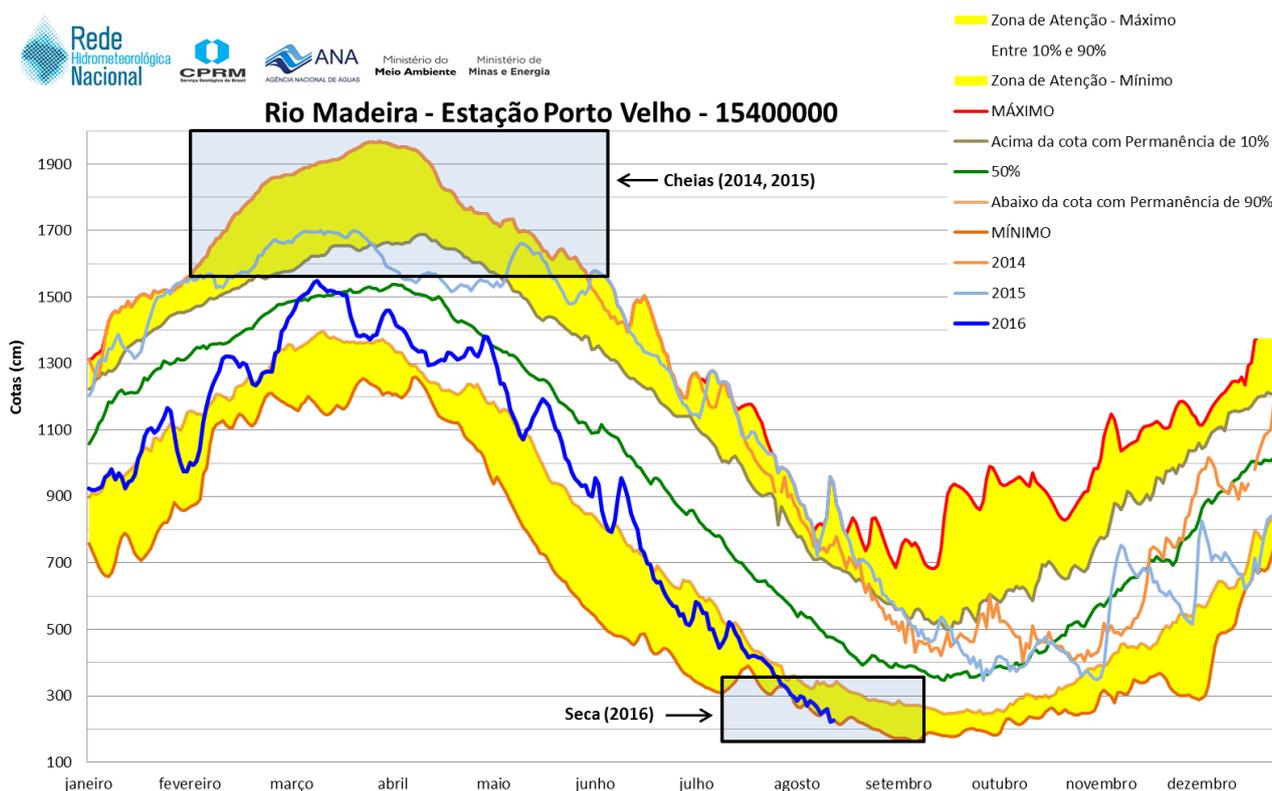


Figura 13. Registros de níveis fluviométricos do rio Madeira (1967-2016) na estação Porto Velho (15400000), onde se destacam com retângulos os picos das cheias de 2014 e 2015 e da estiagem de 2016.

Adicionalmente, durante visitação ao local e através da análise das curvas de nível, das linhas de fluxo e da micro bacia de drenagem (Figura 14), constatou-se que a drenagem das águas superficiais gera um acúmulo de água a sudeste da base da ferrovia Madeira-Mamoré, a qual atua na região como um dique. O acúmulo de água superficial poderia potencializar o fluxo de água subterrânea na zona da margem e influenciar a base da mesma. A origem desta água superficial se daria principalmente a partir das precipitações incidentes no local e do esgoto gerado nas residências localizadas na colina do entorno, haja vista que se constatou a presença de condutos que drenam as águas servidas destas casas até a região da base da Ferrovia Madeira-Mamoré e também a ocorrência de buritizais em ambos os lados da estrada de ferro. Os Buritis são indicativos de solo predominantemente saturados ao longo do ano. Além disso, em evento de chuva extrema, haveria o potencial de rompimento da base da ferrovia, o que geraria uma forte descarga de água capaz de potencializar processos erosivos. Sendo assim, um aprimoramento da drenagem urbana desta região poderia contribuir para a contenção do processo de erosão e desbarrancamento. Para isso, se poderia, por exemplo, intervir na drenagem superficial de modo a direcionar o fluxo de água para o córrego mais próximo, como indicado pela linha vermelha na Figura 14.

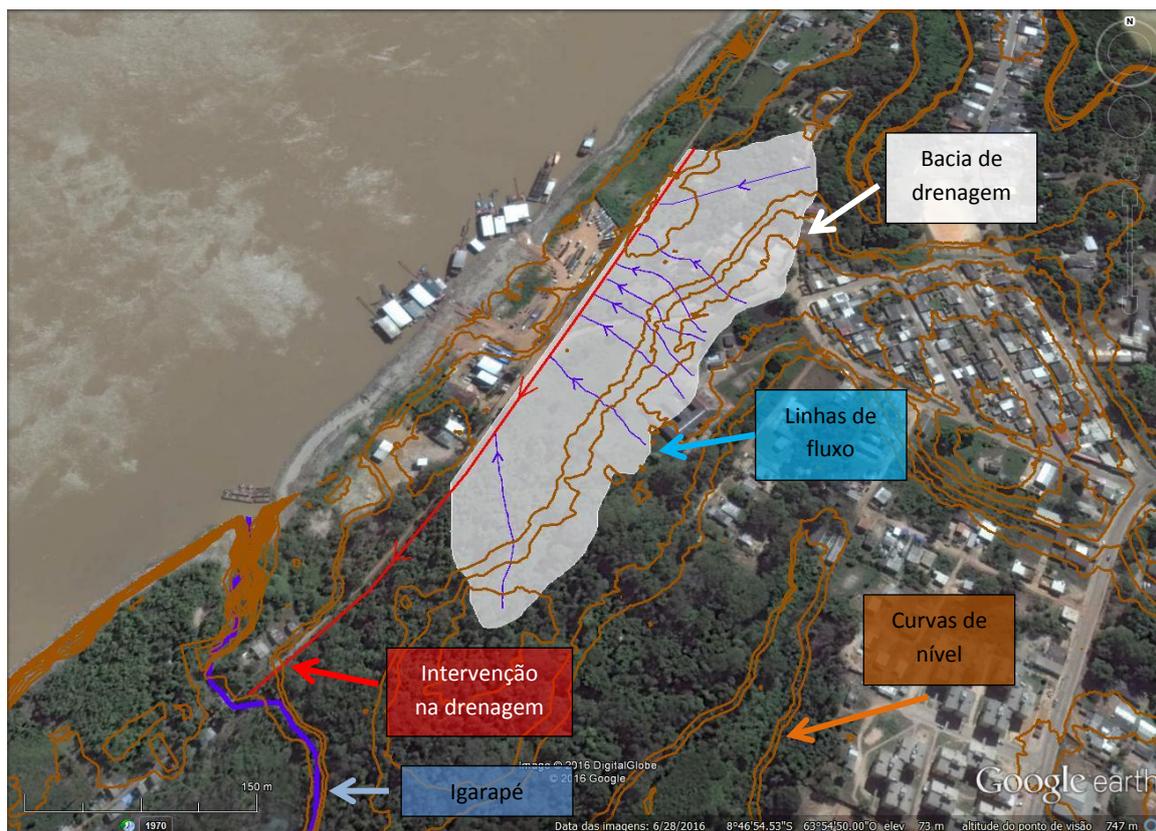


Figura 14. Imagem orbital Google Earth indicando a micro bacia de drenagem (aprox. 0,1 km²), linhas preferências de fluxo de água, curvas de nível, área para execução de estrutura de drenagem urbana e indicação do córrego mais próximo.

4.5. Sobrecarga do Terreno.

Na área do escorregamento foi comprovado o lançamento de aterro, constituído pelo horizonte ferruginoso de um perfil laterítico, conhecido como cascalho laterítico, representado por uma camada de material arenoargiloso, com nódulos concrecionados dispersos, de coloração avermelhada, compactados, com espessura variável de 0,30 a 1,50 metros (Figura 15 e Figura 16). Este material foi depositado sobre os sedimentos arenoargilosos inconsolidados escuros, de resposta geomecânica fraca (Figura 17). O pátio artificialmente aplainado com este aterro estava sendo utilizado para manobras de carga, descarga e estacionamento de veículos pesados e para equipamentos em construção (dragas), operando ainda a descarga de massa asfáltica, advindo das balsas para as carretas, através de tubulações. A dinâmica de operação do porto (fluxo de veículos pesados) associado a um aterro de material de compactação sem controle pode gerar uma sobrecarga ao substrato. Sabe-se que na hora em que ocorreu o deslizamento, havia aproximadamente 12 carretas de prováveis 40 toneladas cada uma. Apesar de não se ter quantificação da resistência do substrato local, para a qual seria necessária a execução de ensaios geotécnicos, não se pode descartar a possível sobrecarga causada pela instalação e operação do porto como um dos fatores que condicionou o escorregamento ocorrido.



Figura 15. Concreção de oxido lançado em meio aterro. Indicativo de aterro lançado sem compactação



Figura 16. Perfil do aterro lançado e sem controle de compactação. Níveis de argila fluvial e cascalho laterítico. Material de peso específico maior do que o substrato e inadequado para o tipo de operação própria de um porto.



Figura 17. Interface aterro sem controle de compactação com substrato de geomecânica frágil de coloração escura. Notar processos erosivos de maior intensidade no material escuro.

5. PÓS-ROMPIMENTO

A descrição do evento apresentada pelos moradores locais e testemunhas indica que o movimento de massa ocorreu de maneira abrupta e inesperada, entretanto, acredita-se que o terreno evidenciase sinais característicos e precursores de rompimentos iminentes, tais como trincas de cisalhamento, lineamentos de tração e pequenas movimentações de massa adjacentes ao local, abundantemente registradas durante a vistoria técnica. Posteriormente, foram verificadas trincas de cisalhamento na área do entorno do deslizamento, indicando que o terreno continua instável e que movimentos de massa em curto e médio prazo poderão novamente ocorrer. Um fato importante associa-se a que as trincas de cisalhamento presentes na área aterrada sem controle de compactação apresentam um maior espaçamento da abertura (Figura 18) do que aquelas observadas em áreas naturais não aterradas, corroborando o argumento de sobrepeso ao substrato local na área deslizada (Figura 19).



Figura 18. Trinca de cisalhamento de ordem decimétrica paralela a margem direita do rio Madeira observada em aterro sem controle de compactação.



Figura 19. Trinca de cisalhamento em terreno natural formado por sedimentos inconsolidados adjacentes a área da ocorrência.

As trincas de cisalhamento foram mapeadas e contemplam toda região descrita no mapeamento da CPRM (2012) como Área RO_PVH_SR_01A_CPRM e Área RO_PVH_SR_02A_CPRM, reconhecidas tanto a jusante como a montante do local onde ocorreu o deslizamento como exposto na figura abaixo (Figura 20). Algumas residências ainda permanecem no entorno da área considerada de risco. Apesar da construção do dique de enrocamento, como visto anteriormente, não há garantias à segurança global do terreno. É recomendável a desapropriação destas residências.

A análise da imagem Google do local de deslizamento permitiu identificar uma área anexa ao Porto JP, de menor dimensão, mas sob as mesmas condições de risco (Figura 21). Na data de 18.08.2016 procedeu-se a uma visita ao referido local, comprovando-se a semelhança entre ambas às áreas, diferindo por estar em uma cota levemente mais alta. De qualquer forma, pelo risco de deslizamento, sugere-se a sua interdição imediata e a paralisação de quaisquer atividades portuárias no local, evitando-se um novo deslizamento.

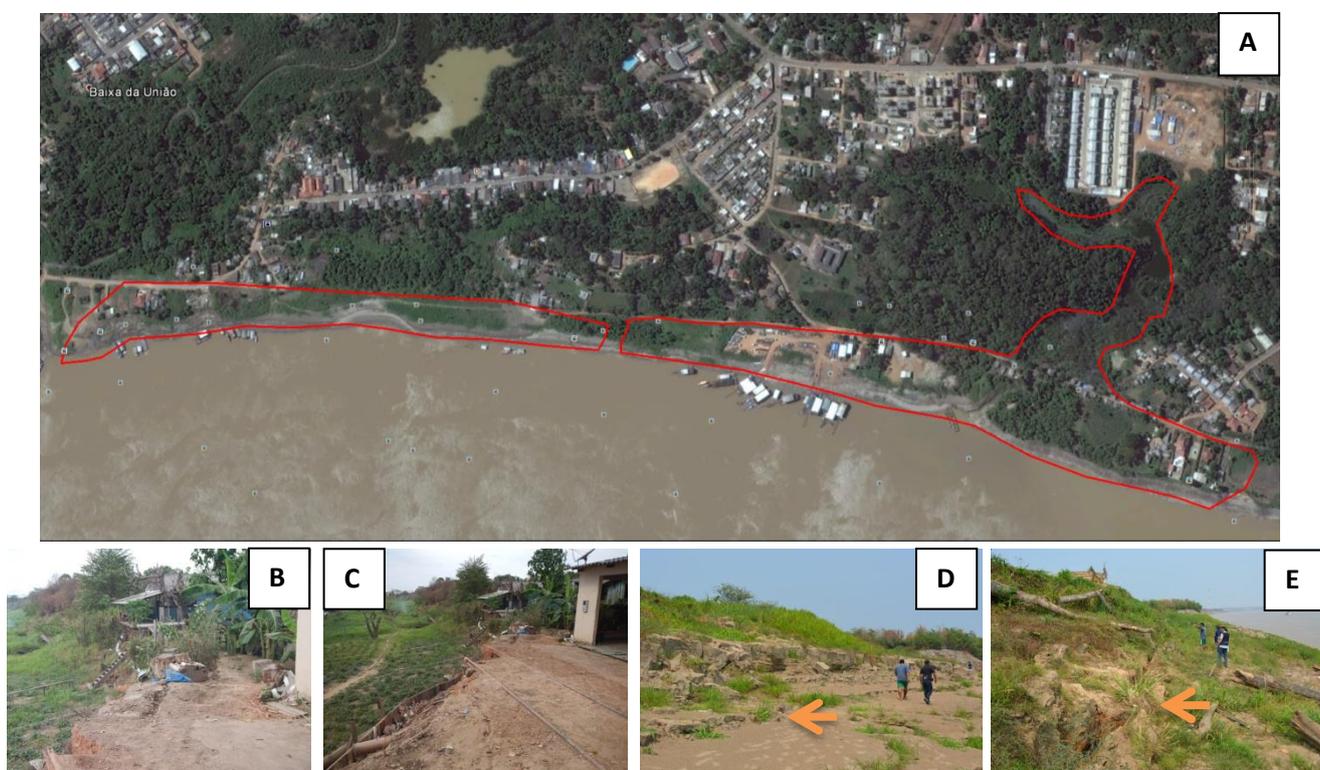


Figura 20. Alguns exemplos de trincas mapeadas em áreas de risco indicadas pelo trabalho da CPRM em 2012: A - Áreas RO_PVH_SR_01A_CPRM e RO_PVH_SR_01B_CPRM mapeadas em 2012; B – Residência em situação de risco a beira de talude em vão de antigo deslizamento; C – Residência sobre o aterro da antiga Ferrovia Madeira Mamoré: terreno cisalhado apresentando trincas e deslizamento a menos de 2 metros da residência; D e E – Trinca a montante do deslizamento em terrenos inconsolidados indicada pela seta.



Figura 21. Área anexa ao Porto JP. Presença frequente de trincas abaixo da superfície aplainada do aterro, sendo prudente a desocupação da área.

Uma feição característica observada na parte central do deslizamento referente à percolação de água no interfícies do cascalho laterítico permeável e dos sedimentos arenoargilosos escuros de baixa permeabilidade, possibilitou a realização de um ensaio de permeabilidade relativa entre as unidades (quais) dispostas no local. Desta forma, foram coletadas amostras em três locais distintos: cascalho laterítico usado como aterro, de cor amarela avermelhado (amostra 01), sedimentos arenoargilosos compostos predominantemente por areia muito fina e silte/argila, escuros, subjacente ao cascalho (coletada na cratera) (amostra 02) e os mesmos sedimentos arenoargilosos na rampa de acesso ao rio Madeira (amostra 03). Procedeu-se inicialmente uma desagregação do material, permitindo uma primeira conclusão: apesar das duas amostras de sedimentos arenoargilosos corresponderem à mesma unidade, apresenta um conteúdo diferenciado, onde a amostra 02 não continha nenhum fragmento de cascalho laterítico, enquanto que a amostra 03 contemplava numerosos fragmentos de cascalho laterítico devido a uma maior compactação. Esta feição refletiu-se no comportamento diferenciado das duas amostras quanto à permeabilidade, conforme descrito a seguir:

- Amostra 01: alta permeabilidade e fácil percolação de fluidos superficiais;
- Amostra 02: baixa permeabilidade, atuando como uma superfície sub-horizontal de percolação dos fluidos subterrâneos sejam águas pluviais e/ou águas servidas. Assim, qualquer líquido que atingisse a parte superior desta unidade, iria deslizar e aflorar em algum ponto abaixo, contribuindo para a instabilidade dos terrenos (Figura 22);
- Amostra 03: baixa a média permeabilidade. A permeabilidade é favorecida pela presença abundante de fragmentos de cascalho laterítico, provenientes da camada superior devido à sobrecarga e compactação.



Figura 22. Percolação de fluidos nas interfaces cascalho laterítico e sedimentos arenoargiloso escuros.

6. SUGESTÕES À MITIGAÇÃO DO PROBLEMA OBSERVADO

A movimentação de massa ocorrida na área do Porto JP, objeto do estudo em questão, é decorrente de uma série de fatores descritas no Capítulo 4, os quais de forma conjunta convergem para a instabilidade do terreno. Os trabalhos de mapeamento de risco realizados nos anos 2012 e 2014 sugeriam ações de mitigação na área em questão, uma das quais foi executada envolvendo a remoção de moradores. Considerando a situação atual e para que o risco de novos deslizamentos não se agrave e se amplie, é sugerido uma série de intervenções descritas a seguir:

- **Sistemas de Drenagem Urbana:** Como principal norte para a recuperação destas áreas sugere-se a implantação conjunta de um sistema de drenagem sanitária urbana contemplando sarjetas, bueiros e escadas hidráulicas para um encaminhamento correto das águas superficiais e subterrâneas e assim atenuar os processos erosivos providos de águas pluviais;
- **Revegetação da Encosta:** Como visto anteriormente, a morfologia local é naturalmente suscetível à erosão. Além disso, a intervenção antrópica promoveu a remoção da cobertura vegetal residual, tornando exposto o solo/sedimento, acelerando e potencializando os processos erosivos atuantes no local. A revegetação desta área com a introdução de espécies vegetais de crescimento rápido contribuiria decisivamente para a desaceleração dos processos erosivos, otimizando um uso mais apropriado da área.

Deve ser ressaltado que a implantação de uma obra de contenção apresenta um fator de segurança e estabilidade decrescentes com o passar do tempo, necessitando de manutenção e de novas intervenções.

Associando-se a esta condição temos a dinâmica fluvial do rio Madeira, que amplifica muito este decaimento de durabilidade com a sazonalidade climática, principalmente os períodos de cheias. Logo, sugere-se um estudo de viabilidade destas obras, colocando como parâmetro de comparação, a retirada das pessoas dos locais de risco e estudo de vias alternativas para que a área hoje considerada como de risco passe a ser somente uma área susceptível, não representando perigos e danos a vida humana e ao patrimônio.

Sugere-se também que seja evitada a ocupação futura de áreas próxima às margens do rio Madeira. A legislação ambiental vigente estabelece leis e regras para a ocupação nestas áreas. Logo, recomenda-se que, além dos 30 metros de distância de cada margem previstos pela legislação, seja elaborado um estudo futuro para que se valide esta distancia ou se considere uma distancia maior, evitando assim, construções em áreas suscetíveis a inundações e erosões fluviais. Para maior segurança, sugere-se que todo e qualquer empreendimento, notadamente às margens do rio Madeira e de outros rios de porte médio, tenham um laudo geológico e geotécnico antes de sua implantação para que não ocorram prejuízos como ocorreu no Porto JP.

Além disso, ressalta-se a importância de implementar e manter ações de contenção dos hidrocarbonetos (piche, óleo diesel, etc.) que foram derramados no local de deslizamento ou que ainda estejam contidos nas carretas que se encontram no local do incidente. Finalmente, devem ser adotadas medidas de remediação ambiental do local visando restaurar os níveis de contaminação do solo e da água aos níveis anteriores ao acidente.

7. CONCLUSÕES

A movimentação de massa ocorrida no Porto JP é resultante de um conjunto de fatores e condicionantes que conduziram a instabilidade global do terreno. Dentro deste conjunto, merecem destaque os condicionantes naturais representados pela morfologia local, pela natureza dos sedimentos e por seu comportamento geomecânico frágil e pela dinâmica fluvial, presentes em sítios onde atuam processos erosivos. Somados a isso, os efeitos gerados por uma ocupação antrópica sem qualquer controle ambiental, a remoção da vegetação, a sobrecarga do terreno derivado do aterramento e a inexistência de sistemas de drenagem eficientes, são fatores agravantes para a instabilidade do terreno.

É importante também o monitoramento contínuo da área afetada e do seu entorno, principalmente onde ocorram evidências de risco tais como trincas de cisalhamento, o que poderá evitar futuros danos materiais, ambientais e acidentes com vítimas. Para a recuperação da área e desaceleração dos processos erosivos no local sugerem-se ações de recuperação ambiental associadas a obras de drenagem para águas servidas e pluviais. Adicionalmente aconselha-se que o poder público reveja todo e qualquer empreendimento que esteja em atividade em áreas anexas à orla do rio Madeira, considerando sua alta susceptibilidade a movimentos de massa.

É importante enfatizar os trabalhos desenvolvidos pela CPRM nos anos de 2012 e 2014, onde já indicavam as áreas de risco suscetíveis a deslizamentos e inundações nas margens do rio Madeira, uma das quais abrangia a área objeto do presente documento. Recomenda-se que, no momento atual, seja evitada a autorização para o exercício de quaisquer atividades e ocupações nas áreas de risco demonstradas neste trabalho.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A. **Avaliação do Processo Erosivo Fluvial em Vila Calama, rio Madeira.** Relatório Técnico. CPRM: Porto Velho, 2013.

CAMPOS, C. R. P.; BEZERRA, S. R. **Levantamento batimétrico do rio Madeira bairro Triângulo, município de Porto Velho-RO:** relatório técnico. Porto Velho: CPRM, 2013. 23 p. il. color.

CPRM, **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco à inundação no município de Porto Velho, Estado de Rondônia.** 2012. CPRM. 13p. il. Color

BARBOSA, F. A. R.; BUFFON, F. T.; GRAMACHO, P. C.; BEZERRA, S. R.; GOMES, W. R. **Levantamento batimétrico do rio Madeira:** região próxima ao bairro Triângulo: relatório técnico. Porto Velho: CPRM, 2014. 33 p.

IGREJA, H. L. S.; PALHA, W. S. M.; CARVALHO, A. S. **Análise geoestrutural de terras caídas sísmica meio de imagem do satélite Landsat 7:** Evento Saracura da Costa da Águia – Município de Parintins. Simpósio de Geologia da Amazônia, 10, Porto Velho, 2007. Anais do X Simpósio de Geologia da Amazônia. Porto Velho: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 2007, pg. 349.

MENDONÇA, R. R.; SILVA, J. A. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco à inundação, em resposta a enchente histórica ocorrida no município de Porto Velho, Estado de Rondônia no período de janeiro-abril de 2014.** 2015. CPRM. 13p. il. Color.

PINHEIRO, J. A. C.; CASTRO, H. P.; BARBOSA, F. A. R.; BUFFON, F. T.; CARVALHO, F. S.; GOMES, W. R. **Levantamento batimétrico do rio Madeira III:** relatório técnico. Porto Velho: CPRM, 2016. 28 p. il. color. Acompanha 1 CD-ROM.