

ESTUDO DE CASO DE RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCA LOCALIZADA NA MARGEM ESQUERDA DO RIO NEGRO NO ESTADO DO AMAZONAS

MONTEIRO, M. A. S.¹

<http://lattes.cnpq.br/1939180222119572>

RESUMO

O Rio Negro possui sua nascente na Colômbia, atravessa a Venezuela e o Brasil, especificamente no estado do Amazonas. Ele possui águas escuras, até encontrar o conhecido fenômeno: encontro das águas com o Rio Solimões na cidade de Manaus. Nas suas margens direita e esquerda, pode-se perceber na encosta deslizamentos de terra, conhecidos mais popularmente de voçorocas. Para tanto, realizou-se este estudo de caso que visa a apresentação de soluções e a elaboração de projeto básico para contratação de empresa especializada, com a finalidade de realizar obras de recuperação, estabilização e contenção de talude à jusante, em virtude de ocorrência de evento por processo erosivo nas proximidades de um conjunto residencial pertencente a uma organização militar. Fato enquadrado em Defesa Civil como caso de emergência, em virtude do acometimento de afetar a vida dos moradores e transeuntes que ali trafegam, bem como perdas patrimoniais.

Palavras-chave

Rio Negro; encosta; “voçoroca”; e recuperação.

CASE STUDY OF RECOVERY OF A GULLY LOCATED ON THE LEFT BANK OF THE RIO NEGRO IN THE STATE OF AMAZONAS

ABSTRACT

The Rio Negro has its source in Colombia and flows through Venezuela and Brazil, specifically in the state of Amazonas. Its waters are dark until it meets the well-known phenomenon: the waters meet the Rio Solimões in the city of Manaus. On its right and left banks, landslides, more popularly known as “gullies”, can be seen on the slope. To this end, this case study was carried out to present solutions and prepare a basic project for hiring a specialized company to carry out works to recover, stabilize and contain a slope downstream, due to an erosion event occurring near a residential complex belonging to a military organization. This event was classified by Civil Defense as an emergency case, due to the impact that affected the lives of residents and passersby who travel there, as well as property losses.

Keywords

Rio Negro; slope; “gully”; and recovery.

Submetido em: 02/08/2024 – Aprovado em: 09/09/2024 – Publicado em: 10/09/2024

¹ Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Ceará – UFC (2013); Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ (2016); Pós-Graduada em Política e Estratégia, pela Associação de Diplomados da Escola Superior de Guerra do Amazonas - ADESG/AM (2018); Pós-Graduada em Gestão de Projetos, pela Universidade de São Paulo – USP (2020); e Pós-Graduada em BIM - Projetos Paramétricos e Design Digital aplicados à Construção Civil, pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MINAS) (2023-atual).



1 INTRODUÇÃO

Voçoroca é um fenômeno geológico que consiste na formação de grandes buracos de erosão causados pelas precipitações em solos desprotegidos de vegetação. Devido à grande perda de massa de solo, as voçorocas são consideradas a forma mais severa da erosão, responsáveis por graves danos ao meio ambiente e também ao próprio meio antrópico (WHITE, 2009).

Segundo Pereira (2020), a presença de uma grande cavidade na terra, evidenciando um desequilíbrio no ambiente, pela presença do solo exposto devido às poucas espécies vegetais existentes, recebe o nome de voçoroca, também é conhecido como boçoroca (oriundo do tupi-guarani: *ibi-çoroc*, onde *ibi* é terra e *çoroc* é fenda) e significa terra rasgada.

Fernandes (2011 *apud* BIGARRELLA, 2003) adota a terminologia de acordo com a profundidade: ranhura (até 5 cm); sulco (5 a 30 cm); vala (30 a 100 cm); e ravina (maior que 100 cm). Este autor afirma que, com o aumento do tamanho dos sulcos, estes se transformam em valas de erosão (*gully*) e em ravinas de dimensões maiores. Na literatura o termo *gully* também é designado para ravinas e até mesmo para voçorocas, não tendo uma definição precisa.

Conforme Santos (2014), a voçoroca constitui-se o estágio mais avançado da erosão. Ocorre devido ao fluxo de água e desprendimento constante de material, por longos períodos de tempo num mesmo canal. A erosão de solos é devida ao processo de desgaste, dinâmica ambiental, transporte e sedimentação. Sua tipologia é classificada com base no desgaste dele, nos agentes formadores e nos processos de composição.

Ferreira (2007), afirma que, “as voçorocas são consideradas um dos piores problemas ambientais em áreas de rochas cristalinas nas regiões tropicais de montanha onde são frequentes e podem alcançar grandes dimensões”.

Quanto aos fatores que contribuem para a ocorrência de voçorocas pode-se destacar aqueles associados aos aspectos naturais como a precipitação pluvial (intensidade e frequência), características do relevo (comprimento, forma, orientação e declividade entre outros), características pedológicas (textura, estrutura, densidade aparente, porosidade, permeabilidade, estabilidade de agregados, entre outros) (VIEIRA, 1978; GUERRA, 1995; PIMENTEL, 2006; MANSTRETTA, PERILLO, PICCOLO, 2023).

O objetivo deste trabalho é propor algumas medidas corretivas e também algumas soluções para conter o avanço da voçoroca, observada na vistoria realizada no conjunto residencial pertencente a uma organização militar, nas proximidades da Companhia Siderúrgica da Amazônia Sociedade Anônima (SIDERAMA).

1.1 Classificação de processos erosivos

De acordo com Pena (2024), em termos de classificação, há vários tipos de erosão, que podem ser elencadas conforme o tipo de agente erosivo atuante, como a água, os ventos e os seres vivos, classificados a seguir:

- a) Erosão pluvial: provocada pela ação da chuva, é apenas uma das causas da degradação do solo. Exemplos: erosão em *splash*, erosão laminar, erosão em sulcos e ravinas;
- b) Erosão fluvial: é um processo natural, de desgaste dos solos, rochas e sedimentos que compõem as margens e também o fundo dos rios;
- c) Voçoroca;
- d) Erosão marinha: o processo de desgaste, transporte e sedimentação de rochas e solos litorâneos por agentes erosivos;
- e) Erosão eólica: um processo natural de desgaste da crosta terrestre causado pelo vento;
- f) Erosão glacial: a ação do gelo, que muda de estado físico devido à variação de temperatura, e causa desgaste no solo e na biodiversidade;
- g) Erosão por gravidade: ocorre quando há transporte e deposição de sedimentos da superfície em virtude da ação da gravidade; e
- h) Erosão geológica: resulta apenas de forças da natureza, sem influência do homem.

1.1.1 Classificações de voçorocas

Segundo OLIVEIRA et al. (1996) há três tipos principais de voçorocas e podem ser destacadas em: voçorocas conectadas à rede regional de canais; desconectadas; e aquelas que resultam da junção das duas anteriores.

As voçorocas conectadas estão associadas ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas da encosta, podendo ser considerada um canal de primeira ordem; as voçorocas desconectadas, encontram-se na parte superior da encosta, estão associadas ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas da encosta, não podendo ser ainda considerada um canal de primeira ordem; as voçorocas desconectadas, encontram-se na parte superior da encosta, estão ligadas ao escoamento superficial e não podem ser consideradas um canal de primeira ordem em virtude de não estarem ligadas à rede de drenagem; e o terceiro tipo, seria na verdade a junção das duas formas anteriores (voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas), formando uma só incisão erosiva (OLIVEIRA, 1996).

1.1.2 Formas de voçorocas

No que diz respeito às formas da voçoroca, Ireland (1939, apud BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985), apresenta 6 formas que poderiam ser utilizadas neste trabalho, como: linear, bulbiforme, dentrítica, entreliça, paralela e composta.

1.2 Contextualização do problema

A SIDERAMA engloba uma grande área, com algumas de suas instalações localizadas próximas das encostas à margem esquerda do Rio Negro, adjacentes de áreas vulneráveis a deslizamentos de terra, acometidas por fenômenos deflagrados por processos erosivos denominados voçorocas, estes relacionados aos altos índices pluviométricos da região (erosão pluvial), algumas vezes combinados à ação da pressão hidráulica do fluxo do rio (erosão fluvial). Dentre estas instalações, estão os Blocos “R” e “Q” de um conjunto residencial pertencente a uma organização militar (ver **Figura 1**).

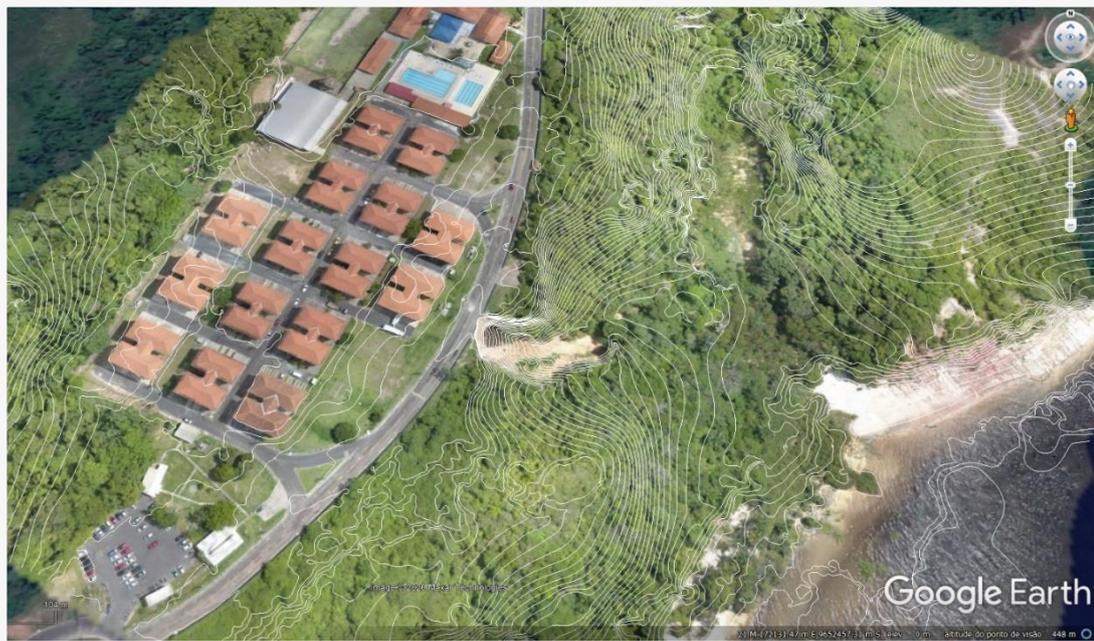
Figura 1. Imagens da área da voçoroca (indicada na cor rosa) próxima aos Blocos “R” e “Q” (indicados na cor amarela).



Fonte: O autor.

Com apoio de Equipe de Geoprocessamento da Secretaria Municipal de Educação (SEMED) da Prefeitura de Manaus, obteve-se o levantamento aerofotogramétrico com equipamento drone, nas áreas adjacentes aos Blocos “R” e “Q”. A Figura 2 exibe o levantamento das curvas de nível da área, e em detalhe na **Figura 3** a área da voçoroca.

Figura 2. Levantamento aerofotogramétrico do conjunto residencial nas áreas adjacentes aos Blocos “R” e “Q”



Fonte: SEMED.

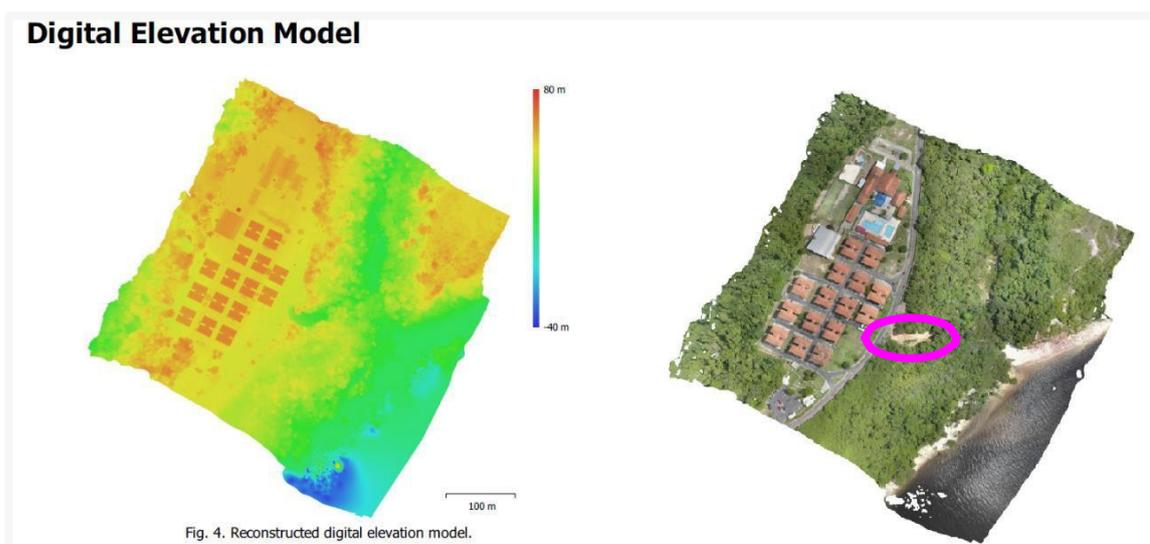
Figura 3. Levantamento aerofotogramétrico em detalhe a voçoroca próxima aos Blocos “R” e “Q”.



Fonte: SEMED.

Através de dados obtidos do levantamento aerofotogramétrico (ver **Figura 4**) e do levantamento topográfico realizado pela organização militar, com a utilização de Estação Total (ver **Figura 5**), concluiu-se que a geometria da voçoroca da encosta da SIDERAMA, compunha-se de uma porção com aproximadamente 60,00 metros de comprimento, 30,00 metros de largura e 45,00 metros de altura.

Figura 4. Resultados do levantamento aerofotogramétrico quanto à geometria da voçoroca da encosta da SIDERAMA: **foto à esquerda, encontra-se a altura**, sendo, 45,00 metros de elevação na régua graduada (na cor verde); e **foto à direita, a localização** (na cor rosa).



Fonte: SEMED.

Figura 5. Resultados do levantamento topográfico apresentando a planta de situação das adjacências da área da voçoroca, em que a posição dos Blocos “R” e “Q” e as coordenadas geográficas estão indicadas na cor encarnada.



1.3 Histórico

De acordo com os dados de Estação Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), o volume de chuvas registrado em Manaus nas primeiras horas do dia 23MAR2020 foi equivalente a mais de 42% do total de precipitações de todo o mês de março na capital amazonense.

De acordo com as informações prestadas pelos representantes da organização militar, devido à incidência dessas chuvas intensas, **houve novo deslizamento de terra em 23MAR2020 nas proximidades do Bloco “R”, tornando ainda mais grave à área acometida por voçoroca**, fato que originou nas proximidades da área da erosão um avanço aproximado de 5,00 metros em direção à pista, **aumentando a área erodida e acarretando também a queda de um muro de cerca de 25,00 metros de comprimento**, localizado a 0,90 centímetros do acostamento da rua.

Em decorrência desses eventos, houve a intervenção emergencial do Bloco “R” e a retirada dos moradores. Em 01ABR2020, ocorreu mais um novo deslizamento ocasionando a queda de uma árvore de grande porte contígua à pista já totalmente interditada.

Segue abaixo na **Tabela 1** um breve histórico do resumo dos eventos ocorridos face aos deslizamentos de terra sucedidos na encosta devido à incidência das chuvas intensas:

Tabela 1. Breve histórico do resumo dos eventos.

DATA	EVENTOS	AÇÕES TOMADAS
2ª quinzena/ MAR/2020	Um dos moradores do conjunto residencial observou a queda de uma árvore através da janela de sua residência.	<ul style="list-style-type: none">➤ Após este fato a organização militar foi informada e passou a monitorar a voçoroca, gerando um relatório próprio, denominado “<i>Relatório de Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca localizada no terreno, próximo à SIDERAMA: Estudo de Caso no Conjunto Residencial, Manaus – AM</i>”, datado de 06FEV2020;➤ A organização militar solicitou apoio de outra organização militar para realização de Vistoria Técnica por profissional; e➤ Interdição de meia pista da rua.
16/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none">➤ Destaque de engenheira civil para elaboração de Projeto Básico para a contratação de empresa especializada em obras geotécnicas para a estabilização do talude em virtude de processo erosivo ocasionado por voçoroca, seguindo as determinações da Lei nº 8.666/1993 - Normas para licitações e contratos da Administração Pública e da Instrução Normativa (IN) nº 5/2017.

23/MAR/2020	Ocorrência de novo deslizamento de terra em frente ao Bloco “R”, ocasionando a queda de muro localizado nas proximidades do acostamento da rua.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Interdição do Bloco “R” do conjunto residencial com a retirada dos moradores; e ➤ Interdição de toda a pista da rua no trecho de 100 metros.²
24/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realocação de poste da rede elétrica, localizado em frente ao Bloco “R” do conjunto residencial, face ao risco iminente de avanço da voçoroca, de modo a evitar, conseqüentemente, a interrupção do fornecimento de energia elétrica das residências e das Organizações Militares localizadas nas proximidades.
24/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contratação de engenheiro projetista para elaboração de Projeto Executivo, durante o prazo de 20 dias a contar corridos de 24MAR2020, cuja data de entrega dar-se-ia em 13ABR2020. O Projeto Executivo Completo, que foi contratado pela organização militar, consistia no conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para a completa execução da obra, por ser elaborado com base nas definições dos estudos técnicos preliminares e nos serviços de apoio técnico, eliminando boa parte da imprecisão e garante a qualidade e preço justos da obra contratada.
24/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instalação de lona plástica azul impermeável para proteção da encosta.
25/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A organização militar solicitou apoio da Equipe de Geoprocessamento da Secretaria Municipal de Educação (SEMED) da Prefeitura de Manaus, a fim obter levantamento aerofotogramétrico com equipamento drone, sendo realizada a Aerofotogrametria nas áreas adjacentes aos Blocos “R” e “Q”.

² **Realização de atividades de Defesa Civil**, objetivo de garantir e preservar a efetivação dos direitos fundamentais, quando estes estão sendo ou poderão ser afetados por um desastre, cumprindo-se então as ações de prevenção, mitigação e resposta da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.

25/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Início da realização das obras para desviar o sistema de drenagem incidente na área de voçoroca. Implantação de sistema de drenagem adequado a receber as águas pluviais superficiais e subsuperficiais e direcioná-las de forma eficiente e segura ao Rio Negro
26/MAR/2020	-	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Início da realização dos serviços de sondagem a percussão de “simples reconhecimento” (Sondagem SPT) realizado por empresa especializada contratada, para investigação geotécnica na base e no topo do talude, com a coleta de amostras que serão destinadas a estudos de caracterização laboratorial do solo, para subsidiar a elaboração de Projeto Executivo.
01/ABR/2020	Queda de uma árvore	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reinstalação de lona plástica azul impermeável para proteção da encosta. ➤ Envio de ofício, solicitando Licença Ambiental ao Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas (IPAAM), a fim de obter autorização para intervenção emergencial em Área de Preservação Permanente (APP), com o objetivo de executar a recuperação, contenção e estabilização do talude (encosta).³

Fonte: O autor.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A seguir será apresentada a descrição das instalações e da situação existente dos problemas apresentados.

2.1 Descrição das instalações

2.1.1 Via de acesso

A rua onde se encontra o conjunto residencial possui estrutura de pavimentação com camada asfáltica⁴ e é a principal via de acesso às organizações militares e ao conjunto residencial, localizados no complexo militar.

³ Tal solicitação tem por objetivo a obtenção de licença ambiental junto a esse instituto, conforme preconizam as determinações do Tribunal de Contas da União (TCU), constantes na Cartilha de Licenciamento Ambiental (2ª Edição) do TCU.

⁴ Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.

Em distintos pontos ao longo de sua margem, encontram-se diversos dispositivos de automação das redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica que chega ao complexo, como postes de concreto armado e transformadores.

2.1.2 Bloco “R” do conjunto residencial

O Bloco “R” possui 12 (doze) apartamentos, os quais estão mobiliados com bens móveis pertencentes aos moradores.

A edificação possui estrutura com as seguintes características:

- a) Superestrutura (vigas, pilares e lajes) e infraestrutura (elementos de fundações) em concreto armado;
- b) Estrutura da cobertura em madeira;
- c) Cobertura em telha cerâmica;
- d) Fechamentos dos elementos de vedação em alvenaria;
- e) Piso interno dos compartimentos e paredes internas das áreas molhadas como banheiros, cozinha e lavanderia em revestimento cerâmico;
- f) Áreas externas com calçadas em concreto; e
- g) Janela em vidro com estrutura em perfis de alumínio.

2.2 Situação existente dos problemas apresentados

De acordo com os representantes da organização militar responsável pelo conjunto residencial, e também conforme breve histórico do resumo dos eventos relacionados na **Tabela 1**, na segunda quinzena do mês de março de 2020, houve o agravamento do processo de erosão, nas proximidades do conjunto residencial.

A seguir serão apresentados os problemas de engenharia verificados após realização de vistoria técnica na via de acesso ao complexo militar e de inspeção predial no Bloco “R” do conjunto residencial, conforme registros constantes no Relatório Fotográfico do APENSO A.

2.2.1 Via de acesso ao complexo militar

Por ocasião da vistoria técnica realizada na rua, no trecho que se encontra nas proximidades do Bloco “R”, constataram-se que manifestações patológicas ocorreram gradativamente na via, tanto pelo desgaste natural do revestimento asfáltico composto pela camada de rolamento, devido ao contato direto com as rodas dos veículos, tanto pelo agravamento dos processos erosivos ocorridos na encosta localizada nas proximidades do acostamento da via.

Através de inspeção visual *in loco*, observaram-se ao longo do revestimento (camada de asfalto) da referida via, grandes trincas, do tipo fendas longitudinais longas, em direções predominantemente paralelas ao eixo da via, de até aproximadamente 5,00 centímetros de abertura (ver **Figura 6** e **Figura 7**). Também se observou a formação de sulcos erosivos ao longo do revestimento, com profundidade suficiente para se verificar o aparecimento da camada natural do solo, com a saída de material, provavelmente, do aterro ou do terreno natural do subleito do pavimento em lide (ver **Figura 8** e **Figura 9**).

Além disso, a 0,90 centímetros do acostamento da via de acesso, houve também a queda de um muro de cerca de 25,00 metros de comprimento, devido ao novo deslizamento de terra ocorrido em 23MAR2020 nas proximidades do Bloco “R” (ver **Figura 10**, **Figura 11**, **Figura 13**, **Figura 12**, **Figura 14** e **Figura 15**).

2.2.2 Bloco “R” do conjunto residencial

Por ocasião da inspeção predial (ver APENSO A2) realizada por engenheiro civil no Bloco “R”, em virtude da ocorrência dos deslizamentos na região, diversas manifestações patológicas surgiram na edificação, foram constatados *in loco* os seguintes problemas de engenharia:

- a) Presença de trincas entre as calçadas do passeio e os pilares do pilotis da garagem (ver **Figura 16**, **Figura 17**, **Figura 18**, **Figura 19** e **Figura 20**);
- b) Abaulamentos no piso sob a laje com a presença de trincas e fissuras no revestimento cerâmico no interior dos apartamentos (ver **Figura 21**);
- c) Descolamentos no revestimento cerâmico de paredes internas, com a presença de gretamento nas placas cerâmicas (ver **Figura 22**);
- d) Aparecimento de microfissuras, fissuras e trincas⁵ ao longo das alvenarias, algumas em ângulo aproximado de 45°, também nos cantos de janelas e portas (ver **Figura 23** e **Figura 24** e **Figura 25**);
- e) Verificação de trinca longitudinal entre vigas e lajes (ver **Figura 26**); e
- f) Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias (ver **Figura 27**, **Figura 28**, **Figura 29**, **Figura 30**, **Figura 31**, **Figura 32**, **Figura 33**, **Figura 34**, **Figura 35** e **Figura 36**).

⁵Em termos técnicos, a nomenclatura mais correta é fissura e trinca, e elas são classificadas conforme o tamanho da sua abertura. Segundo a norma de impermeabilização (NBR 9575:2003), as microfissuras têm abertura inferior a 0,05 mm. As aberturas com até 0,5 mm são chamadas de fissuras e, por fim, as maiores de 0,5 mm e menores de 1,0 mm são chamadas de trincas. O termo rachadura é uma expressão mais coloquial, e utilizado popularmente para se referir a trincas maiores.

3 RESULTADOS

3.1 Análise dos problemas

3.1.1 Via de acesso

As principais causas dos problemas apresentados na rua são devidas aos recalques diferenciais e propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento da estrada. Ocorre na estrutura de pavimentação da via, portanto, os seguintes **defeitos**:

- a) **Funcional**: uma vez que os grandes trincamentos causaram irregularidade na via; e
- b) **Estrutural**: pois houve o enfraquecimento do revestimento do pavimento.

Tais defeitos foram ocasionados, provavelmente, pelo impacto das erosões (voçorocas) ocorridas no solo de suas adjacências, pois o talude é contíguo ao acostamento da referida via, e intensificados pela erosão pluvial, em virtude da ação erosiva das águas de chuvas, que em menor intensidade provoca apenas a lavagem dos solos contidos nas fendas, mas em grandes proporções, provoca alterações intensas, com erosões mais profundas no solo.

3.1.2 Bloco "R" do conjunto residencial

As principais causas dos problemas apresentados no Bloco "R" do conjunto residencial, provavelmente, se devem à presença de recalques diferenciais nas fundações, haja vista às deformações estruturais incidentes, denotando-se que houve deslocamentos (afastamentos) entre esses elementos estruturais, pois foram observadas fissuras nas alvenarias e no piso, justamente do lado voltado para a erosão, fato que reflete recalque do solo já na fundação.

Recalques diferenciais nas fundações da estrutura podem estar acontecendo, uma vez que estes são algumas das causas mais recorrentes de fissuras e trincas nas edificações, e que a principal manifestação desta patologia são as fissuras em ângulo aproximado de 45° nos cantos de janelas e portas. Estes tipos de aberturas (fissuras e trincas) foram observados nas paredes do prédio vistoriado, possuem a inclinação supracitada e são superiores a 2,0 milímetros, ultrapassando o limite admissível pela Norma Brasileira de Projeto de Estruturas de Concreto, NBR 6118:2014.

Estes possíveis recalques diferenciais de fundação são recorrentes, na maior parte das vezes, da diferença de adensamento do solo, em face da influência da movimentação de massas de solo no talude por conta da voçoroca, colocando-se, portanto, tais instalações em risco de instabilidade estrutural e agravamento da situação caso não seja realizada a estabilização do processo erosivo.

Partindo do pressuposto que as fundações são os elementos estruturais que transmitem as cargas para o solo, seu comportamento está inteiramente ligado com o que acontece com o solo. Portanto, algumas das principais consequências da origem desta patologia de recalque estão vinculadas ao processo de erosão que, possivelmente, está influenciando o comprometimento da estrutura do prédio, e então contribuindo para o aparecimento de fissuras em vários pontos ao longo das alvenarias do prédio.

Face ao exposto, é possível constatar que o processo de erosão já está comprometendo a estrutura do prédio, necessitando um acompanhamento quinzenal das fissuras, pois o risco é crítico e compromete sensivelmente a vida útil dele, podendo, inclusive, provocar danos contra a segurança de pessoas e do meio ambiente.

3.2 Cumprimento das orientações

Conforme as ações recomendadas e os serviços executados apontados, para estabilização do processo erosivo da voçoroca, a organização militar conseguiu tomar as seguintes medidas:

- a) **Interdição de toda a pista** da rua, até que as obras para intervenção e recuperação do talude sejam executadas;
- b) **Monitoramento semanal do avanço da voçoroca** com a utilização de equipamento topográfico; e
- c) **Realização do desvio da tubulação da rede pluvial incidente sobre a voçoroca**, com a execução das obras de implantação do sistema de drenagem adequado a receber as águas pluviais superficiais e subsuperficiais e direcioná-las de forma eficiente e segura ao Rio Negro. Para tanto, imediatamente, a organização militar contratou uma empresa especializada em engenharia civil para realização dos seguintes serviços: assentamento de tubos de concreto para redes coletoras de águas pluviais, de diâmetro de 1000 mm, com junta rígida e declividade de projeto de 1%; e construção de 01 caixa de passagem e 01 Poço de Visita. Em suma, conforme registros constantes no Relatório Fotográfico do APENSO A, a seguir serão apresentados, detalhadamente, todos os serviços realizados no trecho do referido sistema de drenagem:
 - Aquisição dos materiais (ver **Figura 37 e Figura 39**);
 - Escavação (ver **Figura 38, Figura 40 e Figura 41**);
 - Preparação do terreno (ver **Figura 42**);
 - Assentamento de tubos (ver **Figura 43 e Figura 44**);
 - Rejuntamento (ver **Figura 45, Figura 46, Figura 47 e Figura 48**);
 - Reaterro (ver **Figura 49 e Figura 50**);
 - Compactação com a utilização de compactador de percussão e placa vibratória (ver **Figura 51 e Figura 52**);

- Execução de camada de regularização com areia de assentamento (ver **Figura 53 e Figura 54**); e
- Construção de 01 caixa de passagem em blocos de concreto estruturais (ver **Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58, Figura 59 e Figura 60**); e
- Construção de 01 Poço de Visita (ver **Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65 e Figura 66**).

3.3 Serviços complementares executados

Adicionalmente, conforme registros constantes no Relatório Fotográfico do APENSO C, a seguir serão apresentados os seguintes serviços complementares realizados pela organização militar:

- a) Acompanhamento do serviço realizado pela empresa Amazonas Energia para realocação de poste da rede elétrica, localizado nas proximidades do Bloco “R” do conjunto residencial, face ao risco iminente de avanço da voçoroca, de modo a evitar, consequentemente, a interrupção do fornecimento de energia elétrica do conjunto residencial e das organizações militares localizadas no complexo militar (ver **Figura 67 e Figura 68** do APENSO C1);
- b) Instalação de uma lona plástica azul impermeável para proteção superficial da encosta (ver **Figura 69** do APENSO C2);
- c) Acompanhamento do levantamento aerofotogramétrico, com equipamento drone, realizado pela Equipe de Geoprocessamento da Secretaria Municipal de Educação (SEMED) da Prefeitura de Manaus, nas áreas adjacentes aos Blocos “R” e “Q”;
- d) Acompanhamento dos serviços de sondagem a percussão de “simples reconhecimento” (Sondagem SPT) realizado por empresa especializada contratada, para investigação geotécnica na base e do topo no talude, com a coleta de amostras que serão destinadas a estudos de caracterização laboratorial do solo (ver **Figura 70 e Figura 71** do APENSO C3); e
- e) Contratação de engenheiro geotécnico para elaboração de Projeto Executivo, a fim de subsidiar o Projeto Básico para a contratação de empresa especializada em obras geotécnicas para a estabilização do talude em virtude de processo erosivo, seguindo as determinações da Lei nº 8.666/1993 - Normas para licitações e contratos da Administração Pública e da Instrução Normativa (IN) no 5/2017.

3.4 Parecer técnico sobre os serviços a serem executados

Em função dos resultados de Laudo Técnico de Engenharia Civil, **recomendou-se a necessidade de intervenção emergencial com a execução de obras de contenção do talude (encosta)**, situado nas proximidades dos Blocos “R” e “Q”, localizado no complexo militar, a

margem esquerda do Rio Negro, cuja área foi degradada por processos erosivos, causados por desastres naturais classificados como deslizamentos de terra, conhecidos comumente como voçorocas.

Recomendou-se o **início imediato dos seguintes serviços de engenharia** recomendados:

- a) Recomposição da geometria da encosta com aterro compactado com aplicação de solo-cimento; e**
- b) Aplicação de proteção superficial com o plantio de vegetação preferencialmente local.**

4 METODOLOGIA

A metodologia é qualitativa e exploratória, onde foi adotado procedimento técnico, formas e critérios através do levantamento de dados, análise de documentos, entrevistas, vistoria *in loco* e classificação dos apontamentos.

5 CONCLUSÃO

O Rio Negro é formado geologicamente, não havendo mudança em seu percurso. O processo de enchente e vazante ocorre em virtude de contribuição de águas advindas de altos índices pluviométricos ao longo do rio que influencia diretamente no nível do rio. Os processos de escorregamento de solo na encosta do conjunto residencial foram desencadeados pela ação erosiva provocada pelas águas pluviais. A erosão pluvial é uma das formas mais comuns de degradação do solo e atinge, praticamente, toda a superfície terrestre. Em regiões tropicais, como na cidade de Manaus – AM, onde são registrados altos índices pluviométricos, esse processo erosivo tende a ser mais intenso, sendo mais agravado no período de chuvas que vai de Dezembro a Maio, onde toda a contribuição das águas pluviais é conduzida ao Rio Negro.

Nas proximidades dos Blocos “R” e “Q”, localizados no conjunto residencial, a falta de um sistema de drenagem capaz de direcionar com segurança as águas pluviais subsuperficiais ao Rio Negro, provocou o escorregamento do talude, cuja área foi degradada por processos erosivos, como deslizamentos de terra, um processo clássico que ocorre na região chamado de “voçoroca”, não sendo possível a previsibilidade do fato, pois tais erosões ocorreram internamente no talude, causando a ruptura do maciço de solo a montante, sendo decorrente de rompimento de parte da tubulação do sistema de drenagem da rede pluvial do conjunto residencial, constituída por bueiros tubulares de concreto armado, agravada pela inclinação acentuada do talude cuja altura aproximada é de 45,00 metros.

Além disso, as enxurradas provocadas pelas precipitações na região carregam os materiais superficiais do solo para as áreas mais baixas. Justamente por isso, esse processo é mais significativo nas regiões de maior declividade. Desse modo, a água lixivia os solos, carreando para o rio, nos cursos d'água, os nutrientes disponíveis nele, favorecendo seu empobrecimento, tendo como fator agravante a saturação do solo e aumentando o seu peso específico, facilitando-se assim o descolamento de massa de solo, conforme o ocorrido na encosta.

As manifestações patológicas apresentadas neste presente trabalho são oriundas de processos erosivos, ocasionando comprometimento estrutural no Bloco "R" do conjunto residencial, bem como na infraestrutura da via de acesso. Foi observado o rompimento generalizado do solo das adjacências dessas estruturas, submetendo tais estruturas a riscos de instabilidade. Caso ocorram novos deslizamentos, os danos poderão ser agravados, e, conseqüentemente, poderão ocorrer perdas patrimoniais, e, desafortunadamente vidas humanas e mais prejuízos ambientais.

Diante do fato, por se tratar de efeitos diretos ao meio ambiente, a ação recomendada é construir estruturas de contenção e estabilização do talude ao longo da encosta vulnerável, bem como a execução de sistemas de drenagem de águas pluviais eficiente, tendo-se como fator relevante para o início das obras, o período de término das chuvas e de início da vazante do Rio Negro, que ocorre anualmente entre os meses junho e agosto.

Portanto, diante do exposto, recomendou-se o início imediato das obras em lide visando reduzir os impactos e prejuízos ao patrimônio da União, evitando, conseqüentemente danos estruturais; ambientais e humanos. Ressalva-se que a não realização das obras de estabilização do referido talude e dos serviços complementares necessários na área da voçoroca do conjunto residencial, poderia comprometer a segurança de pessoas, obras, serviços, equipamentos e outros bens, públicos, sob pena de desmoronar as instalações adjacentes àquela voçoroca, com perdas materiais e humanas, caracterizada esta, como uma situação emergencial.

REFERÊNCIAS

BIGARELLA, João J. & MAZUCHOWSKI, Jorge Z (1985). Visão integrada da problemática da erosão: In: Livro Guia do 3º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Maringá: ADEA/ABGE.

FERNANDES, J. A. Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em SÃO VALENTIM, RS. 2011. 127p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia, Santa Maria

FERREIRA, R. R. M.; FERREIRA, V. M.; TAVARES FILHO, J. ; RALISCH, R. Origem e evolução de voçorocas em Cambissolos na bacia do alto Rio Grande, Minas Gerais. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, Gramado-RS. Anais, 2007.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. (Eds.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 149–209.

MANSTRETTA, G. M. M.; PERILLO, G. M. E.; PICCOLO, M. C. Gully development on the foredune of Pehuén Co (SW Buenos Aires Province, Argentina) and its relationship with rainfall and human activities. *Ocean & Coastal Management*, v. 242, p. 106678, ago. 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4330065>>. Acesso em 01 jago. 2023.

OLIVEIRA, Marcelo A. T. de; VIEIRA, Antônio Fábio G.; POSSAS, Heloisa P.; PAISANI, Júlio C.; LOPES, Lilian J.; LIMA, Maria do Socorro B. de e PONTELLI, Marga E (1996). Evolução de voçorocas e integração de Canais em Áreas de cabeceira de drenagem: município de Resende, RJ. In: I Simpósio Nacional de Geomorfologia. (Anais). Uberlândia: Revista Sociedade & Natureza - EDUFU, p.211-213.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Tipos de erosão"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/tipos-erosao.htm>. Acesso em 31 de jul. de 2024.

PEREIRA, Juliana Sousa. A voçoroca é apenas um buraco na terra?. 2020. Disponível em: <http://www.comunica.ufu.br/noticia/2020/06/vocoroca-e-apenas-um-buraco-na-terra>. Acesso em: 01 ago. 2024.

PIMENTEL, D. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, v. 8, p. 119–137, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-005-1262-8#citeas>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

SANTOS, Luana Maria. Erosão em taludes de corte: métodos de proteção e estabilização. 2014. Faculdade de Engenharia e Ciências. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá – SP.

VIEIRA, N. M. Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de São Paulo, Franca, 1978, 226.

WHITE, Robert E. (6 de novembro de 2009). Princípios E Práticas Da Ciência Do Solo: O Solo Como Um Recurso Natural. [S.l.]: Andrei. ISBN 9788574763781.

APENSO A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DA VISTORIA TÉCNICA REALIZADA NA RUA E DA INSPEÇÃO PREDIAL NO BLOCO “R” DO CONJUNTO RESIDENCIAL

APENSO A1 - VISTORIA TÉCNICA REALIZADA NA RUA

Figura 6. Aberturas tipo fendas ao longo do asfalto.



Fonte: O autor.

Figura 7. Aberturas no asfalto, com fendas de até, aproximadamente, 5,00 centímetros de espessura.



Fonte: O autor.

Figura 8. Em detalhe, o aparecimento de sulcos erosivos com a saída de material de solo de aterro.



Fonte: O autor.

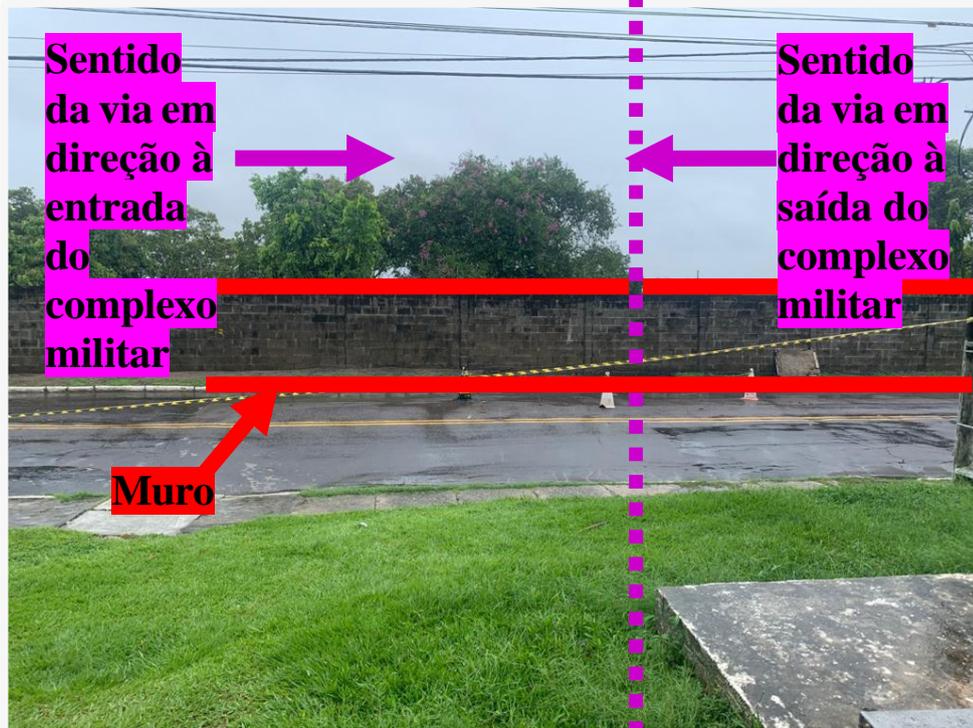
Figura 9. Sulcos erosivos em detalhe.



Fonte: O autor.

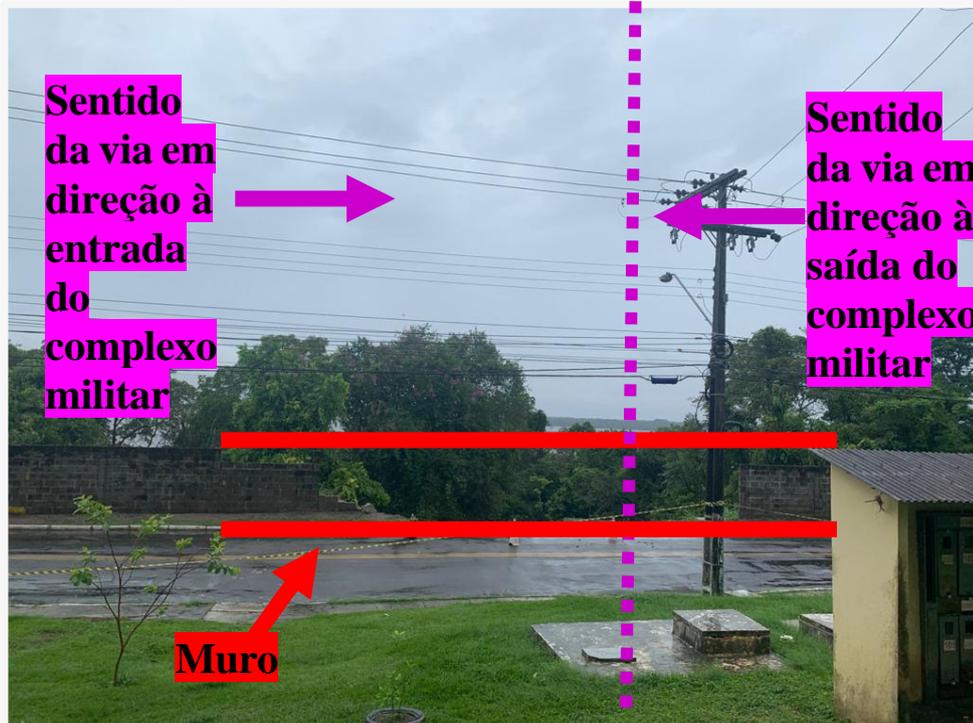
CONTINUAÇÃO DO APENSO A1 - VISTORIA TÉCNICA REALIZADA NA RUA

Figura 10. Antes da queda do muro (indicado na cor encarnada) – Vista frontal.



Fonte: O autor.

Figura 11. Depois da queda do muro (indicado na cor encarnada) - Vista frontal.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO A1 - VISTORIA TÉCNICA REALIZADA NA RUA

Figura 13. Antes da queda do muro – Sentido da via em direção à entrada do complexo militar. Indicado na cor azul observam-se já grandes buracos de erosão.



Fonte: O autor.

Figura 12. Depois da queda do muro - Sentido da via em direção à entrada do complexo militar. Indicado na cor azul observa-se a voçoroca.



Fonte: O autor.

Figura 14. Antes da queda do muro - Sentido da via em direção à saída do complexo militar.



Fonte: O autor.

Figura 15. Depois da queda do muro - Sentido da via em direção à saída do complexo militar. Indicado na cor azul observa-se a voçoroca.



Fonte: O autor.

APENSO A2 - INSPEÇÃO PREDIAL NO BLOCO “R”

Figura 16. Posicionamento dos pilares localizados no pilotis da garagem (indicados na cor amarela) e voltados frontalmente para a encosta da voçoroca (orientação indicada na cor azul).



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO A2 - INSPEÇÃO PREDIAL NO BLOCO "R"

Figura 17. Indicadas na cor encarnada, presença de trincas entre as calçadas do passeio e o Pilar 1 do pilotis.



Fonte: O autor.

Figura 18. Indicada na cor encarnada, presença de fenda entre a calçada do passeio e o Pilar 2. Indicada na cor amarela observa-se inclinação acentuada na calçada.



Fonte: O autor.

Figura 19. Indicada na cor amarela observa-se inclinação acentuada na calçada próxima ao Pilar 3.



Fonte: O autor.

Figura 20. Indicada na cor encarnada, presença de fenda entre a calçada do passeio e o Pilar 4.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO A2 - INSPEÇÃO PREDIAL NO BLOCO "R"

Figura 21. Abaulamentos no piso sob a laje com a presença de trincas e fissuras no revestimento cerâmico no interior de apartamentos.



Fonte: O autor.

Figura 22. Descolamentos no revestimento cerâmico de paredes internas, com a presença de gretamento nas placas cerâmicas.



Fonte: O autor.

Figura 23. Aparecimento de microfissuras, fissuras e trincas ao longo das alvenarias, em ângulo aproximado de 45°.



Fonte: O autor.

Figura 24. Aparecimento de microfissuras, fissuras e trincas ao longo das alvenarias, em ângulo aproximado de 45°, também nos cantos das portas.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO A2 - INSPEÇÃO PREDIAL NO BLOCO "R"

Figura 25. Aparecimento de microfissuras, fissuras e trincas ao longo das alvenarias, nos cantos de janelas.



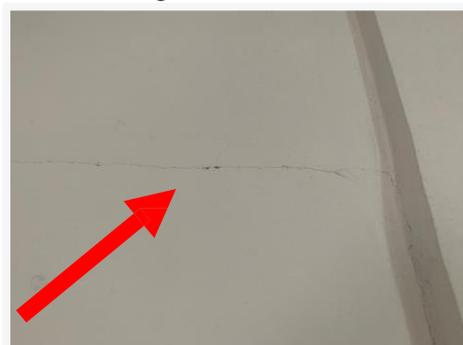
Fonte: O autor.

Figura 26. Verificação de trinca longitudinal entre vigas e laje.



Fonte: O autor.

Figura 27. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 28. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 29. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 30. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO A2 - INSPEÇÃO PREDIAL NO BLOCO "R"

Figura 31. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 32. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 33. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 34. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 35. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

Figura 36. Verificação de trincas longitudinais entre vigas e alvenarias.



Fonte: O autor.

APENSO B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM ADEQUADO NO CONJUNTO RESIDENCIAL

Figura 37. Chegada ao canteiro de obras de 50 manilhas/tubos de concreto de 100 cm de altura x 100 cm de diâmetro.



Fonte: O autor.

Figura 38. Escavação. Serviço de escavação de vala com retroescavadeira para assentamento de tubulação de concreto para o desvio da rede pluvial incidente sobre a voçoroca.



Fonte: O autor.

Figura 41. Escavação. Serviço de escavação de vala com retroescavadeira para assentamento de tubulação de concreto.



Fonte: O autor.

Figura 39. Chegada ao canteiro de obras de blocos de concreto estruturais de 14x19x39 cm.



Fonte: O autor.

Figura 40. Escavação. Serviço de escavação de vala com retroescavadeira para assentamento de tubulação de concreto.



Fonte: O autor.

Figura 42. Preparação do terreno. Serviço de regularização do fundo da vala com colocação de berço de areia e declividade de projeto 1%.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM ADEQUADO NO CONJUNTO RESIDENCIAL

Figura 43. Assentamento de tubos. Sentindo de montagem dos trechos da tubulação de concreto de 100 cm de altura X 100 cm de diâmetro realizado de jusante para montante.



Fonte: O autor.

Figura 44. Assentamento de tubos. Transporte dos tubos para dentro da vala com auxílio da retroescavadeira.



Fonte: O autor.

Figura 45. Rejuntamento. Execução das juntas rígidas com argamassa.



Fonte: O autor.

Figura 46. Rejuntamento. Execução das juntas rígidas com argamassa.



Fonte: O autor.

Figura 47. Rejuntamento. Execução das juntas rígidas com argamassa.



Fonte: O autor.

Figura 48. Rejuntamento. Execução das juntas rígidas com argamassa.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE
ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE
DRENAGEM ADEQUADO NO CONJUNTO RESIDENCIAL

Figura 49. Reaterro de vala.



Fonte: O autor.

Figura 50. Reaterro de vala.



Fonte: O autor.

Figura 51. Compactação.



Fonte: O autor.

Figura 52. Compactação.



Fonte: O autor.

Figura 53. Camada de regularização com areia de assentamento.



Fonte: O autor.

Figura 54. Camada de regularização com areia de assentamento.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM ADEQUADO NO CONJUNTO RESIDENCIAL

Figura 55. Concretagem da base em concreto armado da caixa de passagem do sistema de drenagem de águas pluviais.



Fonte: O autor.

Figura 56. Concretagem da base em concreto armado da caixa de passagem.



Fonte: O autor.

Figura 57. Elevação das paredes em blocos de concreto estruturais da caixa de passagem.



Fonte: O autor.

Figura 58. Assentamento dos blocos de concreto estruturais da caixa de passagem.



Fonte: O autor.

Figura 59. Instalação de forma de madeira para concretagem da tampa da caixa de passagem.



Fonte: O autor.

Figura 60. Concretagem da tampa em concreto armado da caixa de passagem.



Fonte: O autor.

CONTINUAÇÃO DO APENSO B – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE ACOMPANHAMENTO DAS OBRAS DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM ADEQUADO NO CONJUNTO RESIDENCIAL

Figura 61. Construção de Poço de Visita do sistema de drenagem de águas pluviais.



Fonte: O autor.

Figura 62. Construção de Poço de Visita do sistema de drenagem de águas pluviais.



Fonte: O autor.

Figura 63. Construção de Poço de Visita do sistema de drenagem de águas pluviais.



Fonte: O autor.

Figura 64. Construção de Poço de Visita do sistema de drenagem de águas pluviais.



Fonte: O autor.

Figura 65. Construção de Poço de Visita do sistema de drenagem de águas pluviais.



Fonte: O autor.

Figura 66. Finalização das obras de implantação do sistema de drenagem adequado.



Fonte: O autor.

APENSO C - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DE ACOMPANHAMENTO DOS SERVIÇOS COMPLEMENTARES

APENSO C1 - REALOCAÇÃO DE POSTE DA REDE ELÉTRICA, LOCALIZADO NAS PROXIMIDADES DO BLOCO “R” CONJUNTO RESIDENCIAL.

Figura 67. Posição de poste da rede elétrica antes de sua realocação ser realizada pela Amazonas Energia, face ao risco iminente de avanço da voçoroca.



Fonte: O autor.

Figura 68. Posição de poste da rede elétrica depois de sua realocação ser realizada pela Amazonas Energia, face ao risco iminente de avanço da voçoroca.



Fonte: O autor.

APENSO C2 - INSTALAÇÃO DE LONA PLÁSTICA AZUL IMPERMEÁVEL.

Figura 69. Instalação de lona plástica azul impermeável para proteção superficial da encosta.



Fonte: O autor.

APENSO C3 - REALIZAÇÃO DE SONDAGEM A PERCUSSÃO DE “SIMPLES RECONHECIMENTO” (SONDAGEM SPT)

Figura 70. Investigação geotécnica no topo do talude, com a coleta de amostras que serão destinadas a estudos de caracterização laboratorial do solo.



Fonte: O autor.

Figura 71. Investigação geotécnica na base do talude, com a coleta de amostras que serão destinadas a estudos de caracterização laboratorial do solo.



Fonte: O autor.