



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE GEOLOGIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E OCORRÊNCIA DE  
VOÇOROCAS ASSOCIADAS A ATIVIDADE MINERAL NAS  
SUB-BACIAS FORMADORAS DO MÉDIO RIO GUAMÁ**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**  
**ISABELA FARIAS LIMA**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima (UFPA)**

---

**BELÉM - PARÁ**  
**2020**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

L732d Lima, Isabela Farias  
Diagnóstico ambiental e ocorrência de voçorocas associadas a  
atividade mineral nas sub-bacias formadoras do médio rio Guamá / Isabela  
Farias Lima. — 2020.

xvii, 53 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia,  
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Erosão (Pará). 2. Geologia Ambiental. 3. Geoprocessamento. 4.  
Voçorocas. 5. Mineração. I. Título.

CDD 551.352098115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Faculdade de Geologia**

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E OCORRÊNCIA DE  
VOÇOROCAS ASSOCIADAS A ATIVIDADE MINERAL NAS  
SUB-BACIAS FORMADORAS DO MÉDIO RIO GUAMÁ**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**

**ISABELA FARIAS LIMA**

**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Geóloga.**

**Data de aprovação: 14 / 01 / 2020**

**Banca examinadora:**

**Prof.ª Dr.ª Aline Maria Meiguins de Lima**  
**(Orientadora – UFPA)**

**Prof. Dr. Joelson Lima Soares**  
**(Membro – UFPA)**

**Msc. Dianne Danielle Farias Fonseca**  
**(Membro – CPRM)**

Dedido este trabalho aos meus pais e irmão,  
pilares da minha vida, razões de tudo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todos os momentos, exatamente do jeito que aconteceram, que me ajudaram a construir quem sou.

Aos meus pais, Antônio e Cristina, que sempre me estimularam a me aperfeiçoar em todos os aspectos, e me deram o suporte e amor necessário. Ao meu irmão Igor, por ser meu fiel (e paciente) companheiro. Ao meu avô Antônio (Tunico), pelo apoio e carinho dado por todos esses anos. Ao meu doguinho Spike, que sempre me recebia com muita alegria e amor.

À Profa. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima, pelas orientações, conselhos, paciência (muita), auxílio e estrutura fornecida no decorrer de toda a minha graduação, de modo que eu pudesse produzir todos os trabalhos da melhor forma possível.

Aos professores Dr. Milton Antônio da Silva Matta e Dra. Rosemary da Silva Nascimento, pelas oportunidades dadas no decorrer da graduação.

Aos meus colegas de trabalho da CPRM, por todos os ensinamentos, conselhos e apoio dados no decorrer desses 2 anos de estágio, em especial: Cíntia Gaia, Raphael Neto, César Lisboa, Dianne Fonseca, Regina Silva, Junny Kyley e Antonia Railine.

Aos amigos e colegas de pesquisa do LEMHA – Tati, Milena e Kubota – os quais guardo com muito carinho em meu coração. Aos amigos que a Geologia me deu, pelas lembranças maravilhosas (principalmente das viagens), em especial: Rafael, Rafaela, Plácido, Thays, Art, Silvio, Ismayla, Léo, Ádria, Dominique, Marcelo, Danilo, Ariel e Lucas.

Às minhas mulheres super poderosas Bianca Lore e Maria pela amizade sincera, amor, carinho e apoio incondicional. Ao meu sagita preferido Ricardo, pela amizade sincera, carinho, rolês aleatórios e conselhos. Aos meus amigos da conexão Capitão Poço-Belém que proporcionaram o alívio da tensão em todos os encontros: Layla, Rani, Emerson, Tamires, Bianca, Jaira, Marcílio, Severina, Francy, Melissa, Wagner, Yan, Will, Fernanda, Tio Elvis, Jack, Thalles, Dill, Tai, Lucas, Marco, Rafa e Yas.

À Carmem e Amanda pela parceria e colaboração durante as coletas dos dados de campo.

Aos donos e empregados das seixeiros, que permitiram o livre acesso e forneceram auxílio e segurança nas áreas visitadas.

A todos que fizeram parte dessa caminhada, meus sinceros agradecimentos.

*“Todos os caminhos são iguais  
O que leva à glória ou à perdição  
Há tantos caminhos, tantas portas  
Mas somente um tem coração”*

(Raul Seixas)

## RESUMO

A erosão é um processo de ocorrência natural, entretanto, práticas de mineração, agropecuárias, desmatamento e outras atividades antrópicas podem acentuar a erosão. Este estudo teve como objetivo realizar o diagnóstico das condições naturais e antrópicas das sub-bacias componentes do médio curso do rio Guamá e a ocorrência de voçorocas decorrentes da atividade mineral vinculadas a seixeiros. Para isso foi elaborada uma base de dados secundários teóricos e cartográficos, que possibilitou a composição de um conjunto de dados relacionados à geologia, pedologia, unidades geomorfológicas, clima, uso e cobertura da terra e hidrografia da área de estudo. Em uma segunda fase, foi feito mapeamento das voçorocas nas áreas de mineração da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá. A seleção da área de estudo foi feita a partir de imagens de alta resolução espacial dos satélites *RapidEye* e *GeoEye*. De acordo com os resultados encontrados observou-se que a bacia é majoritariamente composta por unidades litológicas pertencentes à Formação Barreiras (conglomerados e arenitos) e pelos sedimentos Pós-Barreiras (argila, silte e areia fina). Foram individualizadas 8 unidades geomorfológicas que possibilitaram uma melhor análise da bacia, a partir dos fatores de: processos de equilíbrio, estados de equilíbrio e compartimentos geomorfológicos; estes agruparam-a em 2 conjuntos de modelados: dissecação pelo efeito do escoamento pluvial (unidades I, III, IV, VI, VII e VIII); e dissecação pelo efeito da drenagem fluvial (unidades II e V). Os dados pluviométricos indicaram maiores índices de chuva nos meses de fevereiro a abril e menores índices nos meses de julho a novembro, tornando-a uma região mais propícia ao escoamento do que a infiltração, em decorrência do alto índice pluviométrico. A bacia possui rede de drenagem de 6ª ordem e de orientação principal E-W e N-S. A pedologia da região constitui latossolos desenvolvidos a partir de sedimentos da Formação Barreiras, gleissolos localizados próximos ao rio Guamá e os argissolos com ocorrência relacionada aos terrenos pertencentes ao Cinturão Gurupi. As classes de uso e cobertura da terra identificadas foram: área florestal (29,93%), área agrícola (4,66%), reflorestamento (0,12%), vegetação secundária (12,17%), pastagem (49,39%), solo exposto (1,56%), área de exploração mineral (0,82%), açude/lago (0,045%), rio (0,48%) e cidade + vila + complexo industrial + propriedade rural (0,77%); o resultado revelou uma área com intensa atividade agropecuária e extrativista, e presença de áreas de vegetação preservada, associadas às margens dos rios. Também foram identificadas e mapeadas 10 voçorocas na bacia hidrográfica, inseridas nas sub-bacias: Igarapé Açú, Igarapé Curuçá, Igarapé Grande e Igarapé João Alves. As voçorocas foram agrupadas e descritas por região em cada sub-bacia e foram classificadas da seguinte forma: quanto ao tipo - 9 voçorocas desconectadas e uma do tipo

conectada; quanto a forma - 4 voçorocas ramificadas, 5 irregulares e uma linear; e quanto ao volume – 6 voçorocas pequenas, uma muito pequena, uma média, uma grande e uma muito grande. O resultado revelou que a evolução das voçorocas das áreas de mineração na bacia são favorecidas pelos fatores controladores: erosividade pela ação das águas das chuvas; a erodibilidade ocasionada pela desestruturação da cobertura de solos, além dos efeitos do antropismo na modificação da morfologia original do relevo.

Palavras-chave: Geologia ambiental. Geoprocessamento. Erosão. Voçorocas. Mineração.

## ABSTRACT

Erosion is a naturally occurring process; however, mining, farming, deforestation and other anthropogenic activities can accentuate erosion. This study aimed to diagnose the natural and anthropogenic conditions of the sub-basins of the middle course of the Guamá river and the occurrence of gullies resulting from mineral activity linked to sewage. For this, a theoretical and cartographic secondary database was elaborated, which allowed the composition of a data set related to geology, pedology, geomorphological units, climate, land use and land cover and hydrography of the study area. In a second phase, gully mapping was carried out in the mining areas of the Middle Guamá river basin. The study area was selected from high spatial resolution images of the RapidEye and GeoEye satellites. According to the results found, it was observed that the basin is mostly composed of lithological units belonging to the Barreiras Formation (conglomerate and sandstones) and Post-Barrier sediments (clay, silt and fine sand). Eight geomorphological units were individualized that allowed a better analysis of the basin, from the factors of: equilibrium processes, equilibrium states and geomorphological compartments; they grouped it into 2 sets of models: dissection by the effect of rainfall (units I, III, IV, VI, VII and VIII); and dissection by the effect of river drainage (units II and V). Rainfall data indicated higher rainfall rates from February to April and lower rates from July to November, making it a region more conducive to runoff than infiltration due to the high rainfall. The basin has 6th-order drainage network and main orientation E-W and N-S. The pedology of the region consists of oxisols developed from Barreiras Formation sediments, gleysols located near the Guamá river and argisols with occurrence related to Gurupi Belt lands. The land use and land cover classes identified were: forest area (29.93%), agricultural area (4.66%), reforestation (0.12%), secondary vegetation (12.17%), pasture (49, 39%), exposed soil (1.56%), mineral exploration area (0.82%), weir / lake (0.045%), river (0.48%) and city + village + industrial complex + rural property ( 0.77%); The result revealed an area with intense agricultural and extractive activities, and the presence of preserved vegetation areas associated with the river banks. It was also identified and mapped 10 gullies in the watershed, inserted in the sub-basins: Igarapé Açú, Igarapé Curuçá, Igarapé Grande and Igarapé João Alves. The gullies were grouped and described by region in each sub-basin and were classified as follows: as for the type - 9 disconnected gullies and one of the connected type; the shape - 4 branched gullies, 5 irregular and one linear; and as for volume - 6 small gullies, one very small, one medium, one large and one very large. The result revealed that the evolution of the gullies of the mining areas in the

basin are favored by the controlling factors: erosivity by rainwater action; the erodibility caused by the disruption of land cover, as well as the effects of anthropism on the modification of the original relief morphology.

**Keywords:** Environmental geology. Geoprocessing. Erosion. Gullies. Mining.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1- Principais fições erosivas segundo Vieira (2008), Santoro (2012) e Miranda (2019). .....	4
Figura 1- Geometria das vertentes: retilínea (A), convexa (B) e côncava (C). Fonte: Passarella et al. (2008). ....	6
Figura 2-Tipos de voçorocas segundo o nível de evolução. Fonte: Adaptado de Oliveira (1989). .....	8
Figura 3- Formas de voçorocas. Fonte: Adaptado de Vieira e Albuquerque. (2004).....	8
Figura 4- Principais formas de voçorocas encontradas na BHMRG. Fonte: Adaptado de Vieira (2008). ....	9
Figura 5- . Mapa da localização geográfica da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá, na porção nordeste do estado do Pará, abrangendo cinco municípios do estado. Fonte: Elaborado pela autora.....	10
Figura 6- Mapa geológico da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá. Fonte: Modificado de Vasquez et al. 2008).....	11
Figura 7- Seixeira do Nédio localizada na BHMRG, próximo à Capitão Poço. Fonte: Elaborado pela autora. ....	13
Figura 8- Fluxograma da metodologia adotada. Fonte: Elaborado pela autora.....	13
Figura 9- Mapa de pontos de campo na BHMRG. Fonte: Elaborado pela autora.....	18
Quadro 2- Resumo das principais definições de voçorocas. ....	19
Quadro 3- Relação de tamanhos de voçorocas de acordo com o volume de solo erodido.....	19
Figura 10- Contato entre a Formação Barreiras e depósito Pós-Barreiras em dois casos diferente: a) Perfil de alteração de cor vermelho-alaranjado; b) Perfil de alteração de cor branco-acinzentado. Fonte: Elaborado pela autora. ....	21

Figura 11- Carta de Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá. .....	22
Figura 12- Precipitação de chuva média mensal, da série histórica de 1985-2014, na bacia do rio Guamá. Fonte: ANA.....	24
Figura 13- Precipitação de chuva acumulada anual da bacia do rio Guamá, no período de 1985-2015. Fonte: ANA.....	24
Figura 14- Distribuição da Precipitação Pluviométrica na bacia do rio Guamá, com destaque em preto na região do Médio Rio Guamá. ....	25
Figura 15- Ordem da rede de drenagem e divisão hidrográfica da bacia do Médio Rio Guamá. .....	26
Figura 16. Mapa de solos da BHMRG. ....	27
Figura 17- Carta de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá.....	28
Figura 18- Registros do uso da terra nas regiões ao redor das minas localizadas na BHMRG. a) Floresta nativa ao redor de uma seixeira recém aberta (Seixeira Aurora), porção central da bacia; b) Plantio de pimenta (à esquerda) e açai (à direita) em uma estrada em direção à Seixeira do Nédio, porção sudeste da bacia; c) Registro do ponto mais alto de uma seixeira localizada ao norte da bacia, cercada por vegetação secundária (seta laranja), plantios (seta amarela) e área de pasto (seta vermelha). ....	29
Figura 19- Mapa de localização da voçoroca "A", formada dentro da mina "Seixeira do Nédio" (2) e localizada na região do alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú (1). Fonte: Elaborado pela autora. ....	31
Figura 20- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca "A". Fonte: Elaborado pela autora. .....	31
Figura 21- Dimensões da crista da voçoroca "A", dados adquiridos em fase de campo. Fonte: Elaborado pela autora.....	32

- Figura 22- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca "A": a) Alcova de regressão indicada pela seta branca e movimento de massa indicado pela seta verde; b) Pedestais; c) Escamamentos; d) Duto indicado pela seta vermelha; e) Marmitas indicadas por setas amarelas e movimento de massa indicado pela seta verde; f) Filetes subverticais indicados por setas laranjas. Estrutura sedimentar de greta de contração observada no piso da voçoroca "A" (g). Fonte: Elaborado pela autora. .32
- Figura 23- Mapa de localização da voçoroca "B", formada dentro da mina "Seixeira do Zeca" (2) e localizada na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú (1).  
Fonte: Elaborado pela autora. .... 33
- Figura 24- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca "B". Fonte: Elaborado pela autora.  
..... 34
- Figura 25- Dimensões da voçoroca "B", dados adquiridos em fase de campo: a) Crista da voçoroca; b) Meio e fim da voçoroca. Fonte: Elaborado pela autora. .... 34
- Figura 26- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca "B": a) Pedestais indicados por setas vermelhas; b) Escamamentos; c) Ravinas indicadas por setas amarelas e movimento de massa representado pela seta verde; d) Sulcos. Fonte: Elaborado pela autora..... 35
- Figura 27- Mapa de localização da voçoroca "C", formada dentro da mina "Santo Antônio 2" (2) e localizada na região do alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá (1).  
Fonte: Elaborado pela autora. .... 35
- Figura 28- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca "C". Fonte: Elaborado pela autora.  
..... 36
- Figura 29- Dimensões da voçoroca "C", dados adquiridos em fase de campo: a) Crista da voçoroca, com destaque para o contato entre a areia branca e a areia avermelhada; b) Outro ângulo da crista da voçoroca; c) Meio e fim da voçoroca. Fonte: Elaborado pela autora. .... 37

- Figura 30- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca “C”: a) Solapamento indicado pela seta vermelha; b) Escamamentos; c) Pedestais; d) Sulcos indicados por setas azuis e costelas indicadas por setas amarelas; e) Marmita indicada pela seta rosa; f) Ravina indicada por seta laranja. Fonte: Elaborado pela autora... 38
- Figura 31- Mapa de localização da voçoroca "D", formada dentro de uma mina abandonada (2) e localizada na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá (1). Fonte: Elaborado pela autora. .... 38
- Figura 32- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca “D”. Fonte: Elaborado pela autora. .... 39
- Figura 33- Dimensões da crista da voçoroca "D", dados adquiridos em fase de campo. Fonte: Elaborado pela autora..... 39
- Figura 34- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca “D”: a) Escamamentos; b) Sulcos; c) Marmita indicada pela seta rosa; d) Ravinamento indicado pela seta verde; e) Costelas indicadas por setas amarelas, filetes subverticais indicados por setas azul claro e movimento de massa indicado por seta azul escuro; f) Alcova de regressão indicada por seta vermelha. Fonte: Elaborado pela autora. 40
- Figura 35- Mapa de localização das voçorocas "E", “F”, “G” e “H”, respectivamente inseridas nas seixeiros “Franco Mineração” (2), “Aurora” (3), “Santa Clara” (4) e “Seixeira do Barbudo” (5); localizadas na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Grande (1). Fonte: Elaborado pela autora. .... 41
- Figura 36. Morfologia dos terrenos pertencentes às voçorocas “E”, “F”, “G” e “H”. Fonte: Elaborado pela autora..... 42
- Figura 37- Dimensões das voçorocas mapeadas na região do baixo curso da bacia do Igarapé Grande, dados adquiridos em fase de campo: a) Visão geral da voçoroca “E”; b) Visão geral da voçoroca “F”; c) Crista da voçoroca “G”; d) Visão geral da voçoroca “H”. Fonte: Elaborado pela autora. .... 43
- Figura 38- Feições erosivas secundárias observadas nas voçorocas da região do baixo curso da bacia do Igarapé Grande: a) Alcova de regressão (voçoroca “E”); b) Escamamentos (voçoroca “G”); c) Sulcos (voçoroca “F”); d) Pedestais (voçoroca “H”); e) Dutos

indicados por setas verdes (voçoroca “G”); f) Canal de escoamento superficial indicado por seta laranja (voçoroca “G”); g) Movimento de massa indicado por seta azul (voçoroca “E”); h) Ravinamentos indicados por setas vermelhas (voçoroca “G”); i) Filetes subverticais (voçoroca “H”). Estrutura sedimentar de greta de contração observada no piso da voçoroca “F” (j) Fonte: Elaborado pela autora..... 44

Figura 39- Mapa de localização das voçorocas "I" e "J", respectivamente inseridas nas seixeiros "Santo Antônio 1" (2) e "Seixeira do Prefeito 02" (3), localizadas na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé João Alves (1). Fonte: Elaborado pela autora. .... 45

Figura 40- Morfologia dos terrenos pertencentes às voçorocas “I” e “J”. Fonte: Elaborado pela autora..... 46

Figura 41- Dimensões das voçorocas mapeadas na região do baixo curso da bacia do Igarapé João Alves, dados adquiridos em fase de campo: a) Visão de parte da voçoroca “I”; b) Visão da crista da voçoroca “J. Fonte: Elaborado pela autora..... 46

Figura 42- Feições erosivas secundárias observadas nas voçorocas da região do baixo curso da bacia do Igarapé João Alves: a) Pedestais (voçoroca “I”); b) Duto indicado por seta vermelha (voçoroca “J”); c) Duto indicado por seta vermelha, ravina indicada por seta azul, sulco indicado por seta amarela (voçoroca “I”). Estrutura sedimentar de greta de contração observada no piso da voçoroca “J” (d). Fonte: Elaborado pela autora..... 47

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra. ....	16
Tabela 2- Tabela de pontos de campo nas áreas de mineração da BHMRG.....	18
Tabela 3- Descrição detalhada das unidades de terreno da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá. ....	21
Tabela 4- Informações principais das voçorocas mapeadas, com suas respectivas localizações e características. ....	30

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>EPÍGRAFE</b> .....	vi
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xv
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	3
2.1 EROSION.....	3
2.2 FEIÇÕES EROSIVAS.....	3
2.3 OS FATORES CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES.....	4
2.3.1 Processos hidrológicos.....	4
2.3.2 Relevo.....	5
2.3.3 Solos.....	6
2.3.4 Geologia.....	6
2.3.5 Cobertura vegetal e uso da terra.....	7
2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS.....	7
<b>3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	9
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	9
3.2 GEOLOGIA REGIONAL.....	10
3.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	11
3.4 ATIVIDADE MINERAL NA BHMGR.....	12
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	13
4.1 PRIMEIRA ETAPA.....	14
4.1.1 Geologia.....	14
4.1.2 Unidades geomorfológicas.....	14
4.1.3 Pluviometria.....	15
4.1.4 Hidrografia.....	15
4.1.5 Solos.....	15
4.1.6 Uso e cobertura da terra.....	15
4.2 SEGUNDA ETAPA.....	17
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	20
5.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS E USO DO SOLO NA BHMGO.....	20
5.1.1 Aspectos geológicos.....	20
5.1.2 Unidades Geomorfológicas.....	21
5.1.3 Pluviometria.....	23

<b>5.1.4</b>	<b>Hidrografia.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Solos.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1.6</b>	<b>Uso e cobertura da terra .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>MAPEAMENTO DAS VOÇOROCAS NAS ÁREAS DE MINERAÇÃO DA BHMGO ....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá .....</b>	<b>35</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Grande.....</b>	<b>40</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé João Alves.....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

As interações humanas interferem diretamente nos fluxos de energia e matéria de um ambiente, forçando a natureza a buscar novos pontos de equilíbrio (Ross 2006). A erosão é um processo de ocorrência natural, entretanto, práticas de mineração, agropecuárias, desmatamento e outras atividades antrópicas – quando não desenvolvidas da maneira correta – podem acentuar a erosão (Santana 2016). Voçorocas são erosões mais complexas e destrutivas, por ser o produto da ação combinada das águas de escoamento superficial e subterrâneo, assim como dos diversos tipos de movimento de massa (Abdo *et al.* 2008, Silveira & Mendonça 2009).

A região onde está inserida a bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá (BHMRG) é caracterizada por apresentar constante crescimento populacional e desenvolvimento econômico nos setores da mineração (Souza *et al.* 2016). A mineração de seixo e areia branca é extraída do leito do rio Guamá e afluentes, sendo esses produtos transportados principalmente para grandes centros urbanos, como Belém (PA) (Souza *et al.* 2012).

Apesar de sua importância, o setor econômico da região tem um grande potencial erosivo devido a diversos fatores, como: a compactação do solo, remoção da cobertura vegetal e retirada do solo para mineração (Souza *et al.*, 2016). Esses fatores têm causado o aumento do transporte de sedimentos em direção ao rio Guamá e aos seus afluentes, afetando negativamente a bacia hidrográfica (Araújo 2016).

De forma a compreender o desenvolvimento das voçorocas nas áreas de mineração, assim como adquirir subsídios que possibilitem minimizar o impacto ambiental vinculado à essas áreas, este trabalho propõe o mapeamento de voçorocas na região da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá, junto a análise das condições naturais e antrópicas das sub-bacias que compõem essa região.

### 1.1. OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal realizar o diagnóstico das condições naturais e antrópicas das sub-bacias componentes do médio curso do rio Guamá e a ocorrência de voçorocas decorrentes da atividade mineral vinculadas a seixeiros.

Como objetivos específicos, são propostos:

- Identificar as condições ambientais das sub-bacias componentes do médio curso do rio Guamá e a distribuição das formas de uso e cobertura da terra;
- Caracterizar e descrever padrões de comportamento das variáveis que influenciam na ocorrência de voçorocas associadas a atividade mineral.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo Machado *et al.* (2006), aproximadamente 600 milhões de toneladas de solo são erodidas por ano no Brasil, prejudicando diretamente o meio ambiente, devido à perda de nutrientes do solo e assoreamento dos rios; e a sociedade, devido a improdutividade dos solos para cultivo e desastres ambientais.

A erosão é um processo natural que pode ser influenciado por inúmeros fatores e pode ocorrer de forma e intensidade variada de um local para outro, devido às diferentes características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas e climáticas de cada região (Sena 2008). Os processos erosivos ainda podem ser induzidos e/ou acelerados pela ação humana, principalmente quando as ações são conduzidas sem planejamento em relação à dinâmica do meio onde ocorre a atuação antrópica (Araújo 2016).

De acordo com Leite *et al.* (2017), a exploração mineral normalmente ocasiona a alteração do relevo e a consequente intensificação de erosões, devido às modificações na dinâmica dos processos morfogenéticos, podendo formar voçorocas e cavas. As voçorocas são geralmente associadas à três fatores principais: 1- intensificação do escoamento superficial; 2- redução da infiltração, devido ao aumento da declividade do terreno; 3- retirada da cobertura vegetal da área (Leite *et al.* 2017).

A região onde se encontra a BHMRG apresenta um crescente desmatamento ocasionado pelo avanço da atividade de extração mineral, a qual é uma das principais fontes econômicas da área de estudo (Souza *et al.* 2012). Segundo Souza *et al.* (2016), a maior parte dessas atividades são conduzidas de forma clandestina, elevando consideravelmente os impactos ambientais na região, principalmente os vinculados aos processos erosivos.

Nesse contexto, há maior necessidade do reconhecimento e caracterização das voçorocas que ocorrem nas áreas de mineração, assim como suas relações com as variantes naturais e antrópicas que atuam diretamente no desenvolvimento dessas feições erosivas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. EROSÃO

A erosão, segundo Magalhães (2001), é um processo mecânico natural de desgaste da superfície terrestre que ocorre a partir da desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, subsolo e/ou rocha como consequência da ação de agentes físicos, químicos e/ou biológicos. De acordo com Viero (2004), em geral são discutidas duas abordagens para os processos erosivos, sendo elas: erosão “natural” ou “geológica” e a erosão “acelerada” ou “antrópica”.

A erosão natural é um processo que atua como uma forma de modelagem do relevo junto aos processos pedogenéticos, onde há equilíbrio entre a quantidade de solo erodido e formado (Carvalho *et al.* 2006). Por outro lado, a erosão antrópica não permite a recuperação natural do ambiente afetado, visto que a quantidade de solo erodido é superior a quantidade de solo formado (Magalhães 2001, Viero 2004).

Para Guerra (2007), a erosão pode ser originada a partir dos processos: hídricos, eólicos, glaciais, gravitacionais e químicos. Entretanto, neste trabalho será dada ênfase na erosão hídrica que, por vezes, podem ser intensificadas pela interferência antrópica.

### 2.2. FEIÇÕES EROSIVAS

De acordo com Santoro (2012), a erosão hídrica é classificada de acordo com a forma em que ocorre o escoamento superficial no relevo e com o seu estado evolutivo, sendo dividida em dois tipos: erosão laminar e erosão linear. A erosão laminar (ou em lençol) é formada a partir do escoamento uniforme e difuso das águas superficiais, transportando partículas do solo sem formar canais definidos. A erosão linear resulta a partir da concentração das águas superficiais que formam incisões na superfície do terreno, responsável pela ocorrência de sulcos, ravinas e as voçorocas (Quadro 1) (Magalhães 2001, Santoro 2012).

Quadro 1- Principais feições erosivas segundo Vieira (2008), Santoro (2012) e Miranda (2019).

FEIÇÕES	DEFINIÇÃO	IMAGEM*
Sulcos	Pequenos canais de até 50 cm de profundidade, formados a partir da ação do escoamento superficial. Normalmente essas incisões ocorrem de forma perpendicular a curva de nível	
Ravinas	Incisões com profundidades que ultrapassam 50cm formadas a partir do escoamento superficial, apresentando forma retilínea, alongada, estreita e perfil transversal em “V”	
Voçorocas	Forma mais intensa do processo de erosão linear, com incisões profundas que podem atingir o lençol freático, tendo a ação combinada das águas superficiais e subterrâneas.	

(\*)Fonte: Vieira (2008) e CPRM (2017).

### 2.3. OS FATORES CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES

Os fatores principais que estão relacionados a ocorrência de processos erosivos são as características naturais hidrológicas, dos solos, do relevo (principalmente a declividade, geometria das vertentes e dissecação do relevo), geologia e a cobertura vegetal; contudo, a interferência antrópica pode romper o equilíbrio entre os processos naturais de erosão e pedogênese e podem induzir ou acelerar os processos erosivos (Prochnow 1990, Sena 2008).

#### 2.3.1. Processos hidrológicos

Segundo Sousa (2010), a chuva é o elemento climático com maior influência na erosão dos solos, seja por meio do impacto direto das gotas de água sob a superfície terrestre (salpicamento), ou por ter a capacidade de produzir o escoamento superficial. As regiões tropicais são destaque nesse tipo de erosão, visto que os totais pluviométricos são mais elevados e conseqüentemente aumentam a ocorrência de processos erosivos devido ao aumento da

capacidade de saturação do solo (Guerra 2007).

Uma vez em contato com a superfície do terreno, a água da chuva poderá infiltrar no solo com volume e velocidade que dependem das seguintes propriedades: intensidade e total de chuva precipitada; da superfície, textura, porosidade, densidade aparente e estrutura do solo; quantidade de água e ar existentes no lençol freático; e das características da encosta e da cobertura vegetal (Vieira 2008)

A erosão por salpicamento, também chamado de *splash* ou *rainsplash*, ocorre quando a gota de água da chuva desintegra os agregados componentes do solo e liberam partículas finas que, em outro momento, são transportadas por salpicamento. Este processo pode gerar a selagem dos solos, formando crostas compactadas (*crust*), visto que as partículas finas dispersas diminuem a porosidade superficial do solo, impedindo a infiltração de água no solo e propiciando o escoamento superficial (Boroghani *et al.* 2012, Guerra 2007).

### **2.3.2. Relevô**

Locais onde há zonas de convergência dos fluxos de água superficial e/ou subterrâneo são característicos de processos erosivos lineares nas vertentes, nas cabeceiras de cursos d'água e em solos arenosos (Filizola *et al.* 2011). Entre as características do relevo que estão diretamente relacionadas a erosão, destacam-se: a declividade, o comprimento e a geometria das vertentes; visto que influenciam na velocidade do escoamento superficial (Bertoni e Lombardi Neto 2005).

Terrenos íngrimes são mais propensos a ocorrência de processos erosivos, visto que quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento superficial e menor será a taxa de infiltração, favorecendo o acúmulo de água na superfície e facilitando o transporte das partículas de solos desagregados por salpicamento. Por outro lado, baixas declividades diminuem a velocidade de escoamento e favorecem a infiltração da água no terreno (Sousa 2010). Este processo pode ainda ser mais ou menos intenso de acordo com o comprimento das vertentes, dessa forma quanto maior a vertente, maior será o volume e a velocidade do transporte de sedimentos (Schwarz 1997).

A geometria das encostas também tem grande importância no processo erosivo, sendo classificadas de três formas: retilínea, convexa e côncava (Figura 1) (Passarella *et al.* 2008). As vertentes convexas apresentam as maiores perdas de solo, devido ao aumento gradual de suas declividades em direção às suas bases (Schwarz 1997). Por outro lado, vertentes côncavas apresentam predomínio de transporte pela água, já que sua geometria favorece o escoamento superficial (IBGE 2009).

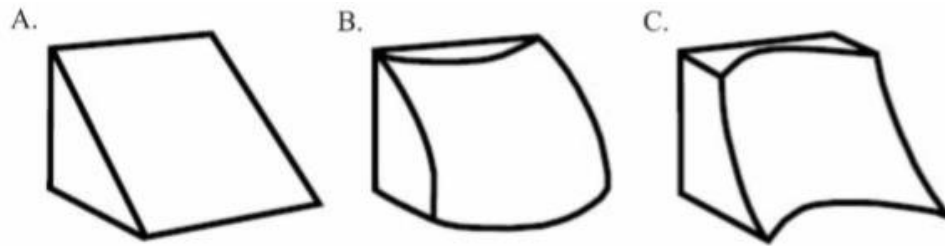


Figura 1- Geometria das vertentes: retilínea (A), convexa (B) e côncava (C). Fonte: Passarella *et al.* (2008).

### 2.3.3. Solos

De acordo com Mafra (1999) e Bertoni & Lombardi Neto (2005), as propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade), químicas (pH, teor de nutrientes, capacidade de troca iônica, condutividade elétrica) e biológicas (conteúdo de matéria orgânica) do solo, conferem diferentes graus de vulnerabilidade à erosão. Em geral, as características químicas e físicas apresentam menor ou maior resistência a ação das águas para a retirada e o transporte de partículas de solo, diferenciando-o quando exposto a semelhantes condições pluviométricas, de relevo e cobertura vegetal (Bertoni & Lombardi Neto 2005).

Em termos texturais, solos com maior porcentagem de argila ou de matéria orgânica são normalmente mais resistentes aos processos erosivos, já que tais partículas são mais coesas entre si quando comparados a solos arenosos (Sousa 2010). Outro fator importante é o modo como as partículas se organizam no perfil do solo, já que as estruturas são diretamente ligadas à capacidade de infiltração e redistribuição da água da chuva e no transporte das partículas do solo (Bertoni E Lombardi Neto 2005, Sousa 2010).

### 2.3.4. Geologia

Os aspectos geológicos, assim como a pedologia, é um fator importante para o estudo de erosões, visto que vêm sendo apontados como responsáveis pela origem e evolução da erosão linear por vários autores no Brasil e no mundo (Silva *et al.* 2003). Segundo Beavis (2000), a litologia determina a intensidade da erosão na paisagem, já a estrutura geológica determina a localização e orientação dessas erosões.

As características texturais e mineralógicas das rochas presentes no substrato geológico de cada região podem influenciar no processo de erosão, visto que condicionam a permeabilidade e o transporte de partículas desagregadas por intemperismo. A litologia também tem influência na gênese de solos, que dependendo das características herdadas da rocha matriz podem formar uma cobertura pedológica mais suscetível à erosão (Silva *et al.* 2003).

De acordo com Muratori (1983), fraturas, falhas e contatos litológicos são aspectos que criam condições favoráveis para a ocorrência de feições erosivas, principalmente voçorocas,

por constituírem importantes descontinuidades mecânicas e hidráulicas.

### **2.3.5. Cobertura vegetal e uso da terra**

A cobertura do solo pela vegetação natural tem um papel essencial no controle do processo erosivo, visto que ela diminui o impacto direto da água da chuva no solo, mantendo o processo de erosão natural lento e equilibrado (Araújo 2016). Em ambientes que apresentam encostas íngrimes, as raízes das plantas também atuam oferecendo estabilidade e coesão ao terreno, evitando possíveis deslizamentos (Mendes 2006).

Segundo Araújo (2016) a ação antrópica é um acelerador da dinâmica dos processos erosivos por meio de atividades de uso e ocupação da terra. A partir da retirada da cobertura vegetal, além da alteração da paisagem da área, há o desequilíbrio das condições naturais da dinâmica do meio, provocando assim uma erosão mais intensa (Souza 2004, Valle Junior 2008).

## **2.4. CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS**

O termo voçoroca (ou boçoroca) tem origem do tupi-guarani “*ibiçoroc*”, que significa “terra rasgada” ou “terra fendida” Miranda (2019). Outros nomes também são usados para essa feição erosiva, dentre eles: erosão em garganta ou em grotas, *gully erosion* (nos países de língua inglesa), *lavaka* (em Madagascar) e *ravine* (na França) (Pereira & Ribas 2014).

Oliveira (1989) classificou as voçorocas em três tipos principais: conectadas, desconectadas e integradas (Figura 2). As voçorocas do tipo conectadas são associadas ao escoamento superficial e/ou subterrâneo nas áreas de menor elevação das encostas, podendo ser consideradas canais de primeira ordem. As do tipo desconectadas são observadas nas porções mais elevadas da encosta associadas ao escoamento superficial e/ou movimentos de massa, não estando ligadas a nenhuma rede de drenagem. Por fim, as do tipo integradas são a junção dos dois tipos anteriores (conectadas e desconectadas), formando uma só feição erosiva (Oliveira 1989).

As voçorocas também podem ser classificadas quanto suas formas, em: linear, buldiforme, treliça, composta, dendrítica, paralela e retangular (Figura 3) (Vieira 2008, Miranda 2019). Contudo, para o presente trabalho foi utilizada uma classificação baseada nas formas de maior incidência na BHMRG: irregular, ramificada e linear (Figura 4).

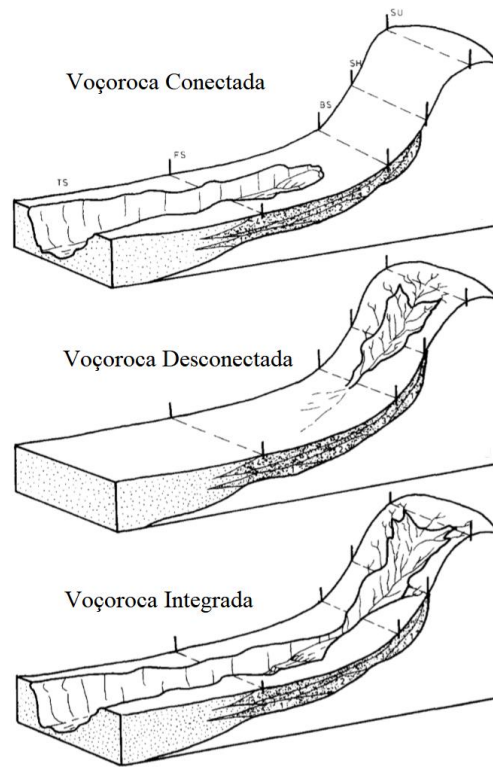


Figura 2-Tipos de voçorocas segundo o nível de evolução. Fonte: Adaptado de Oliveira (1989).

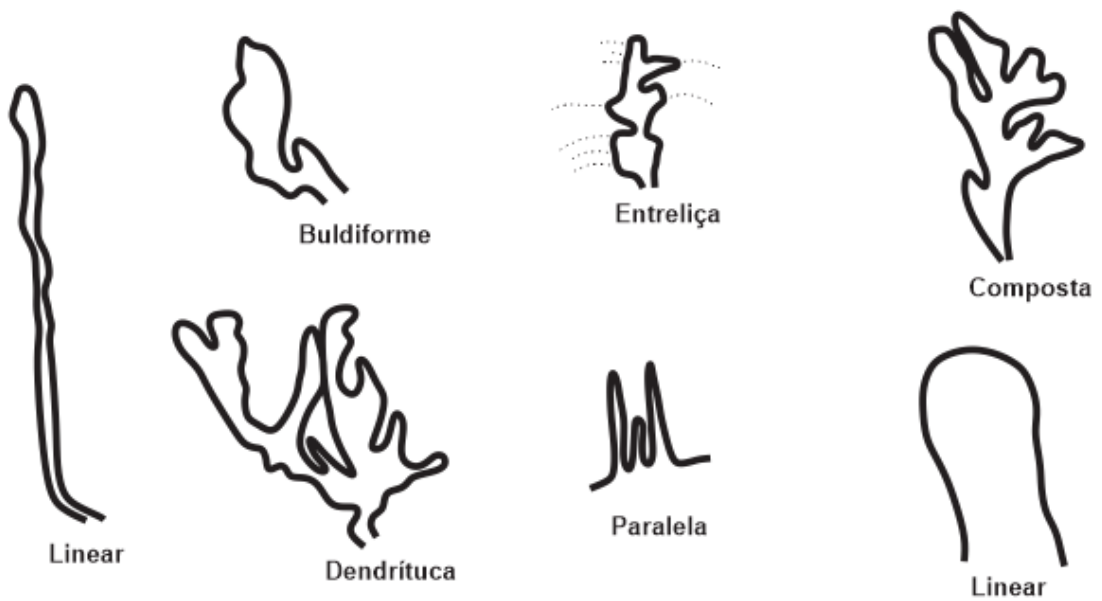


Figura 3- Formas de voçorocas. Fonte: Adaptado de Vieira e Albuquerque. (2004).

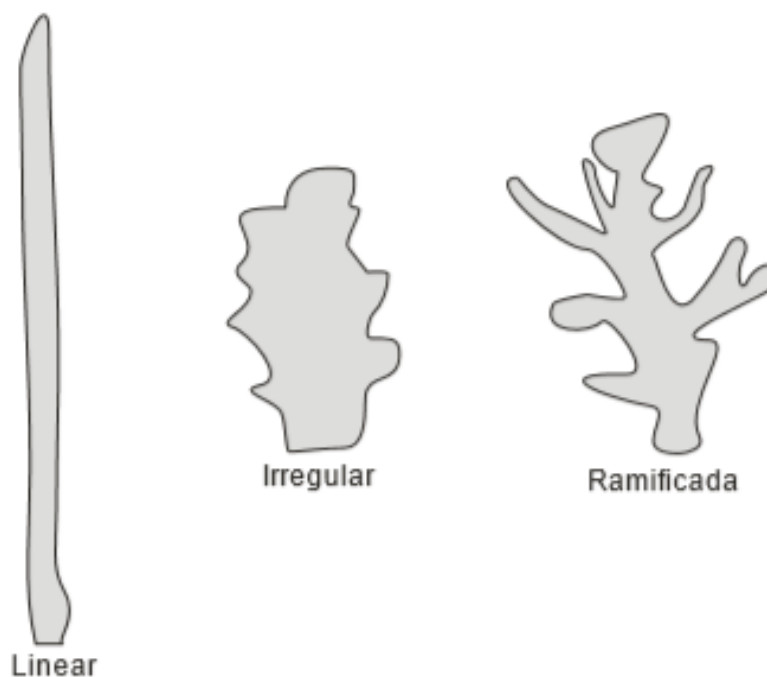


Figura 4- Principais formas de voçorocas encontradas na BHMRG. Fonte: Adaptado de Vieira (2008).

### **3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1. LOCALIZAÇÃO**

A bacia hidrográfica do rio Guamá (BHRG) está situada na porção nordeste do estado do Pará. A área de estudo (Figura 5) encontra-se inserida na região que marca o limite do Médio Rio Guamá e está localizada majoritariamente nos municípios de Capitão Poço e Ourém (mais de 90% da área); além dos municípios de Santa Maria do Pará, Irituia e Bonito. Sua área total é de aproximadamente 955 km<sup>2</sup>, representando sub-bacias componentes do Médio Rio Guamá, nas margens esquerda e direita da bacia. Destaca-se como principais cursos d'água componentes: Igarapé Açu, Igarapé Ajará, Igarapé Cuia, Igarapé Curuça, Igarapé Grande, Igarapé João Alves, Igarapé Pacuí Claro e Igarapé Pacuí Mirim.

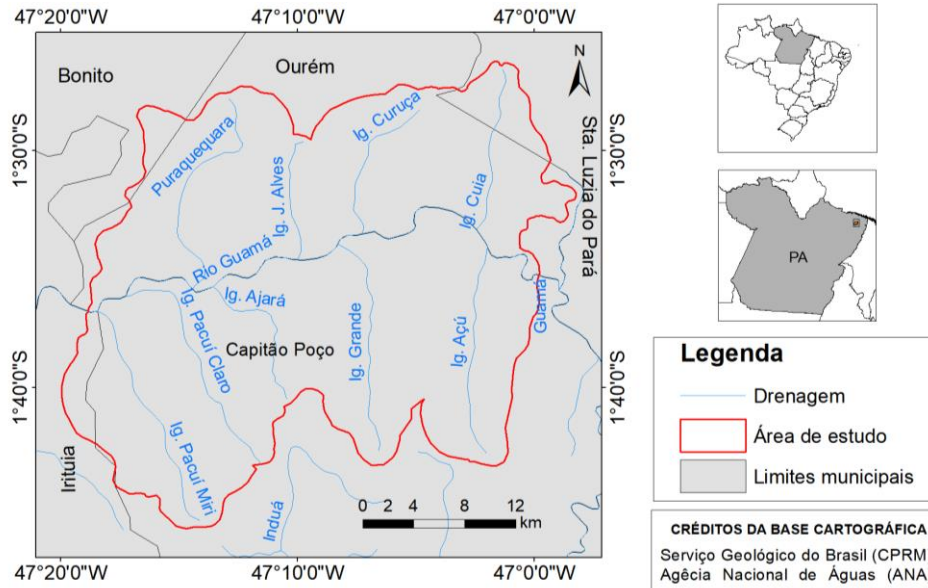


Figura 5- Mapa da localização geográfica da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá, na porção nordeste do estado do Pará, abrangendo cinco municípios do estado. Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2. GEOLOGIA REGIONAL

De acordo com Mapa Geológico do estado do Pará de Vasquez *et al.* (2008), o substrato da BHMARG está situado no contexto geológico de rochas metassedimentares e cristalinas do Cinturão Gurupi, sobrepostas por coberturas superficiais cenozoicas e sedimentos quaternários. Nesse contexto, serão abordadas brevemente as principais unidades e litotipos presentes na região onde está localizada a bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá (Figura 6).

Os litotipos do Cinturão Gurupi são os que apresentam menor distribuição na área de estudo, sendo constituído por rochas metassedimentares da Formação Rio Piritoró e os granitos Jonasa, Ourém e Ney Peixoto advindos do magmatismo orogênico do Ciclo Transamazônico (Costa 2000, Vasquez & Rosa-Costa 2008). Estas associações estão, predominantemente, localizadas na porção noroeste do Cinturão Gurupi.

A Formação Rio Piritoró apresenta predominância de filitos e quartzitos, os quais são normalmente observados como corpos de geometria alongada e orientação preferencial NW-SE (Vasquez & Rosa-Costa 2008). Os granitos Jonasa e Ourém foram formados em contexto orogênico tardi a pós-colisional, apresentando características similares entre si. Entretanto, o Granito Jonasa é granodiorítico de granulação fina, já o Granito Ourém é monzogranítico de granulação média a grossa (Palheta 2001). O Granito Ney Peixoto ocorre próximo aos granitos Jonasa e Ourém e foi formado em um contexto pós-orogênico, apresentando rochas sieno e monzograníticas de granulação média (Villas & Sousa 2007).

As coberturas Cenozóicas da Formação Barreiras são as de maior distribuição, caracterizadas por conglomerados, arenitos ferruginosos; arenitos com níveis de argilito; e

argilito ferruginizado. Esses litotipos caracterizam as porções mais próximas à superfície e, normalmente, os corpos dessa formação afloram em um sistema de morros alongados (Araújo 2011, Costa 2000)

Os sedimentos inconsolidados do quaternário estão inseridos na unidade Pós-Barreiras, sendo constituída por areias argilosas e níveis menos espessos de seixos de arenito ferruginoso; e por sedimentos recentes, caracterizados por depósitos formados ao longo de rios e constituídos por argilas intercaladas com siltes e areias finas (Araújo 2011).

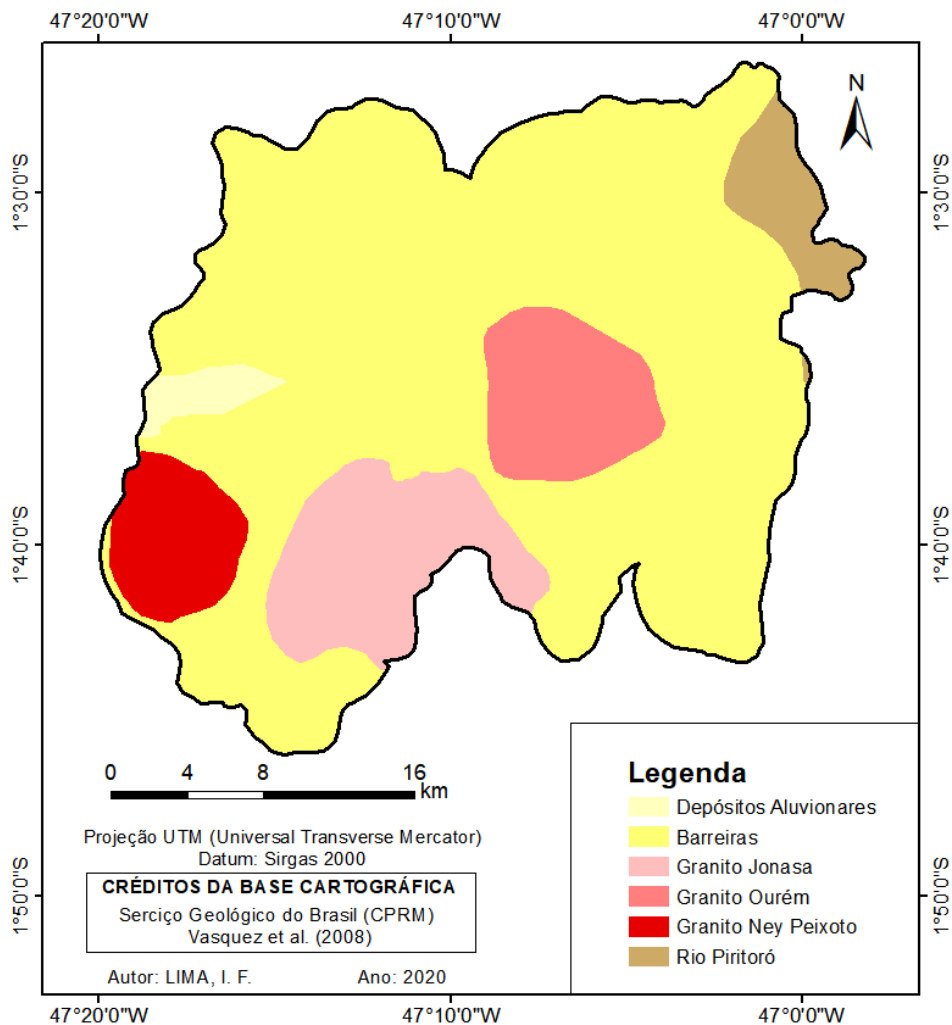


Figura 6- Mapa geológico da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá. Fonte: Modificado de Vasquez et al. 2008).

### 3.3. ASPECTOS FISIOGRAFICOS

A BHMARG está situada no planalto setentrional Pará-Maranhão, constituindo dois tipos de relevo: degradação e agradação; ambos com aspectos rebaixados. A presença de relevo dissecado, concrecionário e retrabalhado, indica a formação de superfícies de aplainamento instáveis e a retomada dos processos de erosão (Souza *et al.* 2012).

O solo predominante é do tipo latossolo amarelo de textura média, ácido e, em geral,

com baixa fertilidade natural. Também podem ser encontrados latossolo vermelho-amarelo, podzólico vermelho-amarelo, solos concrecionários lateríticos, areias quartzosas, plintossolo e gleissolos pouco úmido (Cordeiro *et al.* 2017, Pacheco & Bastos 2001). A partir das características do solo, a região apresenta diversas possibilidades de exploração extrativista de materiais como areia, seixo, pedra, brita, piçarra e argila (Cordeiro *et al.* 2017).

Com relação à cobertura vegetal da área de estudo, predomina uma vegetação secundária em diferentes estádios de desenvolvimento, associados aos sistemas agrossilvopastoris. Além da vegetação secundária, ainda podem ser visualizadas áreas de florestas e desflorestamento (Sampaio *et al.* 2017).

Segundo Nascimento & Fernandes (2017), o clima da área de estudo enquadra-se nos tipos climáticos AM, da classificação de Köppen, caracterizado como chuvoso, apresentando pequena estação seca entre setembro e novembro. Além disso, Pacheco & Bastos (2001) afirma que de acordo com os parâmetros obtidos de condições térmicas, brilho solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, não é observado uma grande variação. Contudo, a precipitação pluviométrica apresenta variabilidades anuais e mensais, diferindo dos outros elementos climáticos.

#### 3.4. ATIVIDADE MINERAL NA BHMARG

Diferente de outros setores da mineração as indústrias de seixo tem relação direta com a sociedade, visto que além de produzirem material voltado para a construção civil, normalmente as operações de lavra ocorrem no entorno de áreas urbanas, como é o caso das cidades de Ourém e Capitão Poço (Figura 7) (Silva 2007, Souza *et al.* 2012).

Nessas regiões, a mineração de seixo é extraída do leito do rio Guamá e afluentes para ser posteriormente transportada para grandes centros urbanos (Matos 2007). Contudo, apesar do ganho na economia, a degradação do meio ambiente tem sido notória. Segundo Souza *et al.* (2012), práticas ilegais de extração indiscriminada de seixo têm sido recorrente na região. Além do assoreamento dos rios, a mineração tem intensificado e gerado voçorocas na região, as quais daremos destaque nesse trabalho.



Figura 7- Seixeira do Nédio localizada na BHMGR, próximo à Capitão Poço. Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho segue a abordagem sistêmica proposta por Vieira (2008) e Miranda (2019) (Figura 8): procurou-se entender como cada uma das variáveis (geologia, geomorfologia, clima, solo, hidrografia e uso e cobertura da terra) contribui no processo de surgimento e expansão das voçorocas. Paralelamente foi feito um trabalho de campo onde foram coletados dados relacionados às voçorocas os quais foram analisados isoladamente e em conjunto com as variáveis.

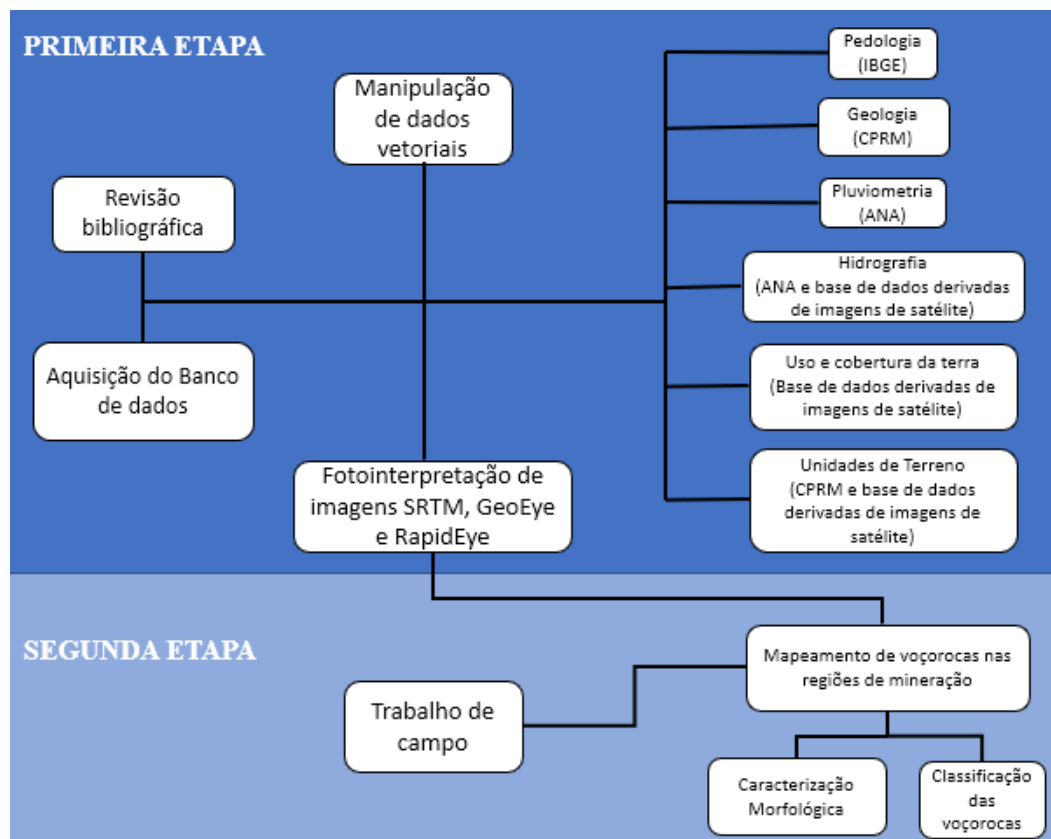


Figura 8- Fluxograma da metodologia adotada. Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.1. PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa deste trabalho consistiu na elaboração da base de dados secundários teóricos e cartográficos, processados nos *softwares ArcMap* versão 10.5 e no *Global Mapper* v18.0, a qual possibilitou a composição de um conjunto de dados relacionados à geologia, pedologia, unidades geomorfológicas, clima, uso e cobertura da terra e hidrografia da área de estudo. Por fim foram reunidos mapas temáticos, produtos de sensoriamento remoto, imagens de satélite e dados vetoriais para o banco de dados em ambiente SIG.

##### 4.1.1. Geologia

O mapa de solos foi elaborado a partir da base vetorial da CPRM, elaborada por Vasquez *et al.* (2008) na escala de 1:250.000. O dados obtidos foram convertidos para a projeção no sistema de projeção cartográfica UTM, datum horizontal SIRGAS 2000, zona 23 sul.

##### 4.1.2. Unidades geomorfológicas

A base de dados utilizados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) para a confecção da carta de unidades de terreno foi: Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m<sup>1</sup>. A partir dos MDE e de anaglifos (gerados a partir de imagens GeoEye) foi elaborado o mapa geomorfológico para a área da bacia hidrográfica do Médio Guamá Oeste. Este adotou a proposta de hierarquização taxonômica do relevo do IBGE (2009), compartimentando a área de estudo em polígonos que representam as diferentes unidades geomorfológicas (UGs).

As UGs foram compartimentadas a partir da delimitação de diferentes aspectos texturais das imagens por representar padrões de formas de relevo semelhantes entre si. As feições morfológicas de cada UG foram descritas de forma qualitativa. Os elementos que compõem o relevo (como as geometrias de topo, vertente e vale) foram descritos a partir da seção obtida do MDE na ferramenta *3D Path Profile* do *software Global Mapper* v14.0). Para elaboração do presente trabalho estes dados foram projetados no sistema de projeção cartográfica UTM, datum horizontal SIRGAS 2000, zona 23 sul. As UGs foram denominadas no presente trabalho de Unidade I, II, III e assim sucessivamente. Estas foram associadas a toponímias já descritas na literatura segundo Vasquez *et al.* (2008).

---

<sup>1</sup> Disponível na rede mundial de computadores no site da USGS (*United States Geological Survey*), no endereço eletrônico: <<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM>>.

#### **4.1.3. Pluviometria**

A base de dados utilizados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) para a confecção do mapa pluviométrico foram montadas a partir dos dados de 45 estações de chuva da ANA, do período de 1985 a 2014, coletados e agrupados por Santos (2016).

#### **4.1.4. Hidrografia**

A drenagem da BHMGR foi elaborada com base em imagens dos satélites *GeoEye*, obtidas no aplicativo *Google Earth*. Depois de vetorizada, a drenagem foi classificada segundo a ordem dos seus canais utilizando a metodologia adotada por Strahler (1952). As sub-bacias foram definidas segundo o sistema de Otto Bacias da ANA.

#### **4.1.5. Solos**

O mapa de solos foi elaborado a partir da base vetorial do IBGE, por meio da Base Cartográfica Contínua do Brasil na escala de 1:250.000. O dados obtidos foram convertidos para a projeção no sistema de projeção cartográfica UTM, datum horizontal SIRGAS 2000, zona 23 sul.

#### **4.1.6. Uso e cobertura da terra**

A carta de uso e cobertura da terra foi elaborada com base em imagens dos satélites *RapidEye*, de resolução espacial 5m; *GeoEye*, obtidas no aplicativo *Google Earth*. Na captura das imagens do *GeoEye* utilizou-se o aplicativo *Google Earth Pro*, com a formação de mosaicos, que foram posteriormente georreferenciados, por meio da utilização de um arquivo vetorial como referência espacial. As imagens obtidas para esse estudo foram adquiridas pelo satélite *GeoEye* em 06 de agosto de 2018 e pelo satélite *RapidEye* no ano de 2015, as quais, permitem aquisição de dados numa escala de aproximadamente 1:8.000, sendo os dados apresentados em uma escala de 1:50.000.

A classificação de cada categoria ocorreu a partir da identificação das unidades de paisagem presentes, que foram vetorizadas de forma que cada polígono passou a representar um fragmento de tipo de uso e ocupação da terra. A classificação foi obtida por meio da criação de uma Chave de Interpretação (Tabela 1) na qual, diferentes padrões de cor, textura, arranjo e forma, foram agrupadas, permitindo assim, a identificação de cada classe (IBGE 2013). A interpretação dessas categorias para a carta de uso e cobertura da terra utilizou como base metodológica a orientação do Manual Técnico de Uso das Terras do IBGE (2013). Para elaboração do presente trabalho estes dados foram projetados no sistema de projeção cartográfica UTM, datum horizontal SIRGAS 2000, zona 23 sul.

Tabela 1- Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra.

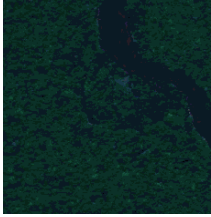


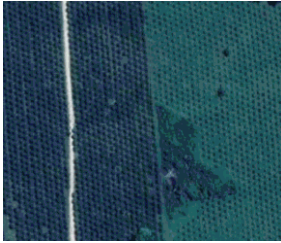







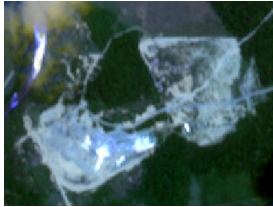
Classes	Imagem ( <i>GeoEye/RapidEye</i> )		Descrição
Área florestal			Cor verde escuro ( <i>GeoEye e RapidEye</i> ), de textura rugosa, distribuída de forma homogênea, e formas irregulares, geralmente associadas aos rios.
Área agrícola			Cor verde claro ( <i>GeoEye</i> ), com textura rugosa e formas regulares e alinhadas (com espaços). Difícil identificação nas imagens do <i>RapidEye</i> .
Reflorestamento			Cor verde escuro ( <i>GeoEye</i> ), com textura rugosa e formas regulares e alinhadas (sem espaços). Difícil identificação nas imagens do <i>RapidEye</i> .
Vegetação secundária			A cor é verde escura, podendo variar à verde claro ( <i>GeoEye e RapidEye</i> ), apresenta textura rugosa, no entanto não é homogênea, apresentando áreas de textura lisa, de forma predominante regular.
Pastagem			Cor verde claro ( <i>GeoEye e RapidEye</i> ), com texturas rugosas e formas predominantemente regulares.
Solo exposto			Cor predominante marrom ( <i>GeoEye e RapidEye</i> ), de textura rugosa ou lisa em forma retangular ou irregular (São de melhor identificação).
Área de exploração mineral			Cor predominante branca/bege ( <i>GeoEye</i> ) e branca acinzentada ( <i>RapidEye</i> ), com textura e forma irregulares.

Tabela 1 (cont.)- Chave de interpretação para as classes de uso e ocupação da terra.

Açude/ lago			As cores podem variar de preto a verde escuro ( <i>GeoEye</i> ) e branca ( <i>RapidEye</i> ), apresentando textura lisa, podendo ter formas regulares ou irregulares.
Rio			Cor marrom escuro ( <i>GeoEye</i> ) e branca ( <i>RapidEye</i> ) com textura lisa e formas irregulares (curvilíneas).
Cidades, Vilas, Complexo Industrial e Propriedade Rural			Cor predominante bege/marrom ( <i>GeoEye e RapidEye</i> ), de textura rugosa, com padrões retilíneos e formas regulares. Essas classes foram diferenciadas em cidade, vila e povoado de acordo com a base cartográfica disponibilizada por IBGE (2017). O complexo industrial foi diferenciado a partir do trabalho de campo.

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2. SEGUNDA ETAPA

A segunda etapa consistiu no mapeamento das voçorocas da BHMRG. A seleção da área de estudo foi feita a partir das imagens dos satélites *RapidEye*, de resolução espacial 5m; *GeoEye*, obtidas no aplicativo *Google Earth*. A partir da análise geral da área, indentificou-se a concentração de voçorocas apenas nas regiões de mineração da BHMRG, por isso o trabalho de campo foi designado apenas a essas áreas.

Os pontos visitados foram pré-definidos com o auxílio do produto de uso e cobertura da terra, a partir da identificação das áreas de mineração. No total foram mapeadas 10 seixeiros (Tabela 2, Figura 9), as quais encontram-se inseridas nas sub-bacias: Igarapé Açú, Igarapé Curuçá, Igarapé Grande e Igarapé João Alves.

Tabela 2- Tabela de pontos de campo nas áreas de mineração da BHRMG.

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	STATUS	MINERADORA
1	01°34'01,3"S	047°10'52,5"W	Desativada	Santo Antônio 1
2	01°33'45,4"S	047°10'37,9"W	Ativada	Seixeira do Prefeito 02
3	01°33'02,8"S	047°07'34,4"W	Desativada	Seixeira Abandonada
4	01°34'48,3"S	047°08'22,3"W	Ativada	Franco Mineração
5	01°34'28,5"S	047°06'46,4"W	Desativada	Aurora
6	01°33'21,8"S	047°03'57"W	Ativada	Seixeira do Barbudo
7	01°34'01,7"S	047°05'51,5"W	Desativada	Santa Clara
8	01°41'09,2"S	047°02'42,4"W	Ativada	Santa Clara
9	01°29'14,3"S	047°07'24,9"W	Desativada	Santo Antônio 2
10	01°34'38,2"S	047°01'55,9"W	Ativada	Seixeira do Zeca

Fonte: Elaborado pela autora.

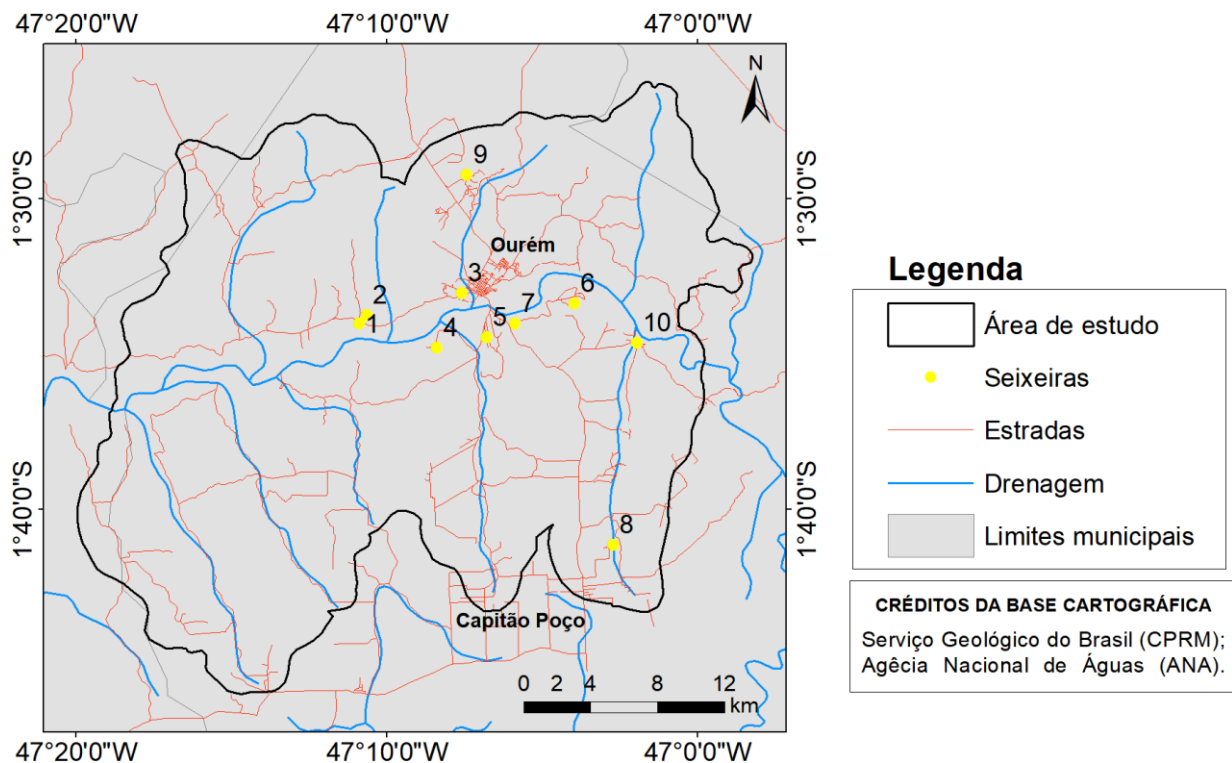


Figura 9- Mapa de pontos de campo na BHRMG. Fonte: Elaborado pela autora.

Os trabalhos de campo com as visitas *in loco*, nas áreas das voçorocas, ocorreram no período de outubro de 2019 (período menos chuvoso). As voçorocas apresentam diversas definições, as quais foram sintetizadas e agrupadas por Vieira (2008) (Quadro 2), neste trabalho foi utilizada a definição que caracteriza voçorocas como como canais profundos com paredes irregulares e perfil transversal em “U”, com a possibilidade de ação combinada dos

escoamentos superficial e subterrâneo.

Seguindo o exemplo do trabalho de Miranda (2019), classificou-se as voçorocas quanto: ao tipo (conectadas, desconectadas e integradas); a forma (linear, ramificada e irregular); ao tamanho (comprimento, largura e profundidade); e volume erodido em m<sup>3</sup> (muito pequena, pequena, média, grande e muito grande) (Quadro 3). Além disso, também foram identificadas feições erosivas secundárias presentes nas voçorocas, como por exemplo: alcovas de regressão, pedestais, escamamento, dutos, canais, ravinas, sulcos, movimentos de massa, etc.

Por fim, os dados coletados em fase de campo, juntamente com os do pré-campo foram descritos e discutidos.

Quadro 2- Resumo das principais definições de voçorocas.

01	Soil Science Society of América, 1975	Incisão com profundidade superior a 0,30 m.
02	Bigarella e Mazuchowski, 1985	Canal de drenagem de paredes abruptas com fluxos efêmeros ou eventualmente pequenos.
03	Instituto Paulista de Tecnologia – IPT (São Paulo, 1990).	Incisão erosiva que apresenta como características principais a queda em bloco e afloramento do lençol freático.
04	Guerra, 1994	Possui paredes laterais íngremes, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante eventos chuvosos.
05	Canil <i>et al.</i> , 1995	Canal profundo com paredes irregulares e perfil transversal em U e resultante da ação combinada entre escoamento superficial e subterrâneo.
06	Vieira, 1998.	Incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano, secção transversal em U.
07	Oliveira, 1999	Incisão natural resultante de desequilíbrios naturais ou induzidos pela ação antrópica, com profundidade e largura superiores a 0,50 m
08	Lozet e Mathieu, 2002	Depressão originada pela ação do escoamento concentrado da água e que não pode ser combatida por meio de instrumentos de arado. Pode apresentar profundidade entre 1 e 12 m e a largura pode ultrapassar mais de 30 m.
09	Vieira (1998)	Incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano, secção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m.

Fonte: Vieira (2008).

Quadro 3- Relação de tamanhos de voçorocas de acordo com o volume de solo erodido.

ORDEM	VOLUME ERODIDO	TAMANHO
01	Até 999 m <sup>3</sup>	Muito pequena
02	De 999 m <sup>3</sup> até 9.999 m <sup>3</sup>	Pequena
03	Entre 9.999 m <sup>3</sup> até 19.999 m <sup>3</sup>	Média
04	Entre 20.000 m <sup>3</sup> até 40.000 m <sup>3</sup>	Grande
05	Mais de 40.000 m <sup>3</sup>	Muito grande

Fonte: Miranda (2019).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. VARIÁVEIS AMBIENTAIS E USO DO SOLO NA BHMGO

#### 5.1.1. Aspectos geológicos

De acordo com os dados obtidos por Vasquez *et al.* (2008), a BHMGO é majoritariamente composta por unidades litológicas pertencentes à Formação Barreiras, onde estão inseridas as áreas de mineração da região. A partir do trabalho de campo, baseado na análise de frentes de lavra de areia e seixo, foi possível descrever as principais características da Formação Barreiras e dos sedimentos Pós Barreiras na área de estudo (Figura 10).

A Formação Barreiras é composta por conglomerados e arenitos de granulometria média a fina, aflorando com espessuras de até 10m. Os depósitos sedimentares da Formação Barreiras encontram-se pouco ou intensamente intemperizados, com coloração variando entre vermelho, amarelo e branco. Os depósitos de cor vermelha e amarela provavelmente são resultados do enriquecimento com oxi-hidróxidos de ferro (goethita e hematita), já os depósitos que apresentam horizontes esbranquiçados, dentro de um perfil de alteração, são resultados de intensa lixiviação ácida em que o  $Fe^{3+}$  é reduzido, como resultado forma-se um solo do tipo espodossolo nas porções superficiais (Costa 1991).

Além disso, as litologias de cor vermelha a amarela são compactas e resistentes, enquanto que as esbranquiçadas são bastante friáveis e pulverulentas. As diferenças de coloração e de intensidade de alteração tem relação direta com fatores locais, como: relevo, vegetação, pluviosidade e o nível do lençol freático.

Os depósitos Pós-Barreiras são constituídos essencialmente por sedimentos inconsolidados de granulometria argila, silte e areia fina, apresentando clastos dispersos de seixos de até 5cm. Além disso, normalmente se encontram depositados sobre superfícies irregulares, comumente recobertas por níveis detríticos, por vezes, sobrepostos diretamente sobre materiais intensamente lixiviados de coloração branca.

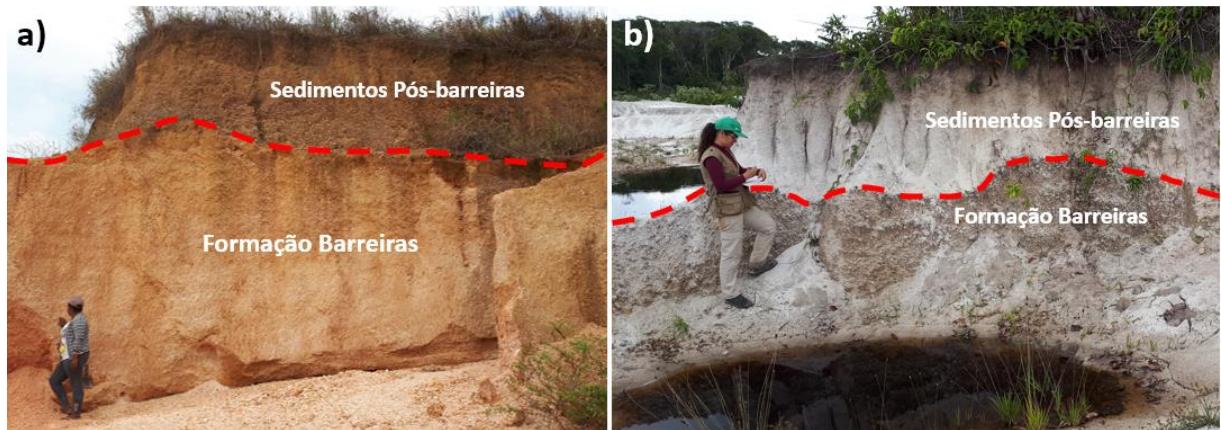


Figura 10- Contato entre a Formação Barreiras e depósito Pós-Barreiras em dois casos diferentes: a) Perfil de alteração de cor vermelho-alaranjado; b) Perfil de alteração de cor branco-acinzentado. Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.1.2. Unidades Geomorfológicas

A BHMRG foi individualizada em oito Unidades Geomorfológicas (Tabela 3 e Figura 11) com base nos parâmetros de natureza estrutural, litológica e padrões de drenagem. Suas unidades são representadas essencialmente por dois domínios morfoestruturais estabelecidos por Vasquez *et al.* (2008): o domínio Plataforma do Pará e Bragantina; e o domínio Cinturão Gurupi.

Tabela 3- Descrição detalhada das unidades de terreno da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá.

Domínio Morfoestrutural <sup>1</sup>	Unidade Geomorfológicas (UG) <sup>2</sup>	Descrição
Plataforma do Pará e Bragantina	I	Relevo suavemente ondulado e localmente ondulado, representado por platôs e morros de topos arredondados e angulares. Apresentam vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	II	Relevo suavemente ondulado e localmente ondulado ou plano, representado por chapadas, platôs e morros de topos arredondados e angulares. Apresentam vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	III	Relevo suavemente ondulado a ondulado, representado por morros de topos arredondados e localmente com regiões aplainadas. Apresentam vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	IV	Relevo ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados. Apresentam vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	V	Relevo plano em regiões de planície, caracterizadas por vales abertos e localmente fechados com vertentes que variam em côncavo-retilíneas a côncavo e formas de topo plano a suavemente arredondado.
Cinturão Gurupi	VI	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por colinas de baixa amplitude e áreas aplainadas. Apresentam vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	VII	Relevo suavemente ondulado constituído por colinas com vales abertos, vertentes retilíneas e côncavas, bem como formas de topo arredondado e, localmente, plano.

Tabela 3(cont.)- Descrição detalhada das unidades de terreno da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá.

	<b>VIII</b>	Região de elevadas altitudes apresentando morros com orientação em N-S e E-W. Apresentam superfícies suavemente onduladas. É caracterizado por formas de topo angulosos, com vertentes retilíneas a côncavas formando vales abertos.
--	-------------	--

<sup>1</sup> Indicadas a partir da classificação de Vasquez *et al.* (2008).

<sup>2</sup> Individualizadas neste trabalho.

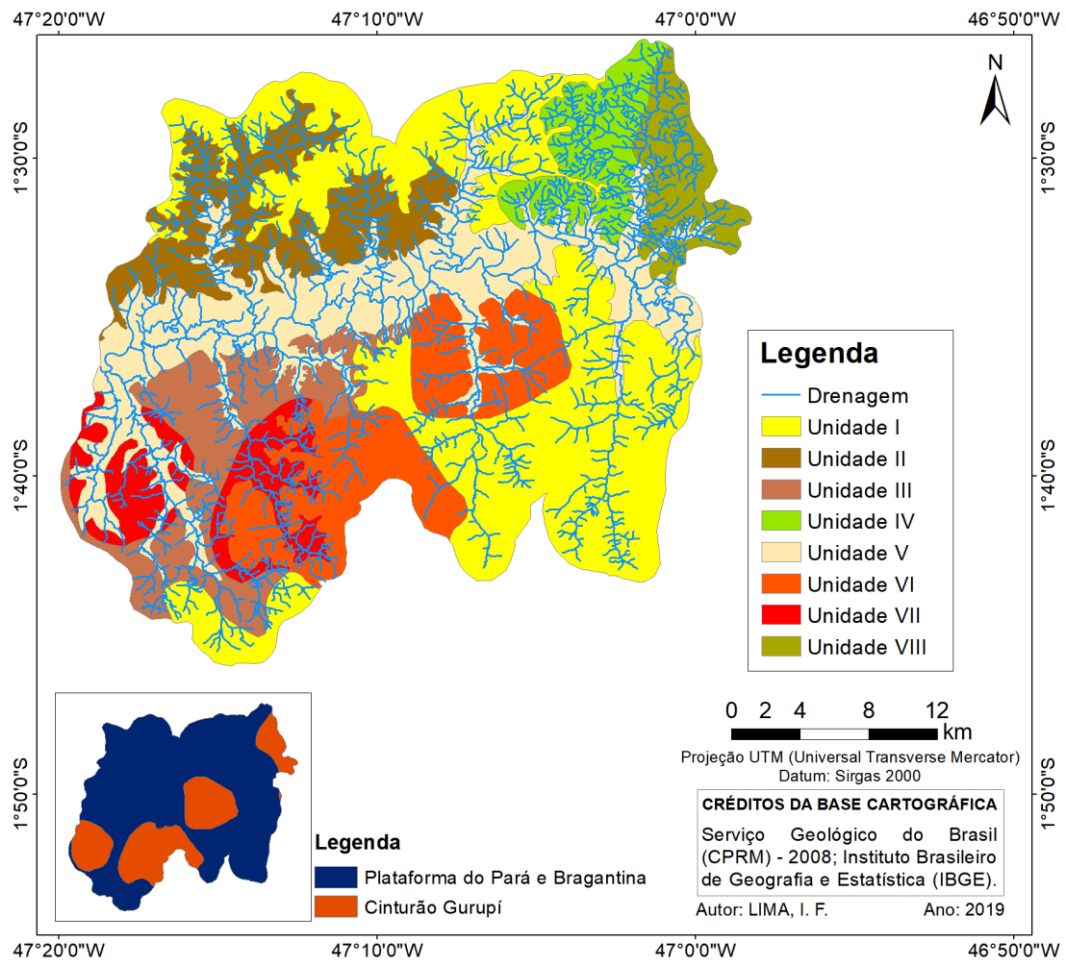


Figura 11- Carta de Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá.

O domínio Plataforma do Pará e Bragantina possui relevo variável com superfícies aplainadas a onduladas. As unidades III e V apresentam superfícies aplainadas e suavemente onduladas com morros residuais. A unidade V é caracterizada por apresentar menores topografias, ocorrendo em relevos aplainados com vales abertos. As unidades II e IV apresentam superfícies onduladas; morros de topo plano a arredondados; morros residuais; altitudes e declividades mais elevadas; e suas feições ressaltam devido à resistência diferencial de suas litologias aos processos de intemperismo e erosão. A Unidade I é formada por platôs rebaixados; relevo homogêneo; e declividade suave, localmente abrupta. As litologias dominantes na bacia hidrográfica pertencem à Formação Barreiras.

Nas porções noroeste, sul e sudeste da bacia estão localizados os terrenos cristalinos do

Cinturão Gurupi. A Unidade VIII apresenta relevo dissecado em cristas e colinas alongadas, evidenciando litologias resistentes ao intemperismo; altas declividades; variações de altitudes; e orientação preferencial em N-S e E-W. Em alternância a estes conjuntos de morros e colinas, as regiões relativamente planas são representadas pelas unidades VI e VII.

Para Jain *et al.* (2012) o estudo das unidades geomorfológicas possibilita a análise dos processos entre entrada (causa) e saída (efeito), de tal forma que um sistema dinâmico oscila em torno do seu estado de equilíbrio. Logo, uma forma de equilíbrio tende a manter suas características relativamente estáveis mesmo após pequenas perturbações; no dinâmico ocorrem mudanças progressivas em longas escalas de tempo, preservando o equilíbrio a curto prazo. Renwick (1992) afirma que o equilíbrio em estado estável explica o processo através de uma abordagem funcional, enquanto que o equilíbrio dinâmico indica uma mudança gradual e progressiva na paisagem, considerando a manutenção de características de condições de curto prazo.

Considerando a proposta de Jain *et al.* (2012) a bacia pode ser classificada segundo: 1) Processos de equilíbrio: espera-se pela estruturação das UGs que as taxas de erosão sejam decrescentes dos topos em direção aos vales, onde predominariam processos deposicionais; 2) Estado de equilíbrio: o vale principal do rio Guamá é uma forma de equilíbrio em resposta a controles externos (dinâmica fluvial) e tectônicos associados ao controle estrutural da rede de drenagem; 3) Compartimentos geomorfológicos: a bacia pode ser dividida em 8 unidades que caracterizam as principais formas e processos atuantes na bacia, com o agrupamento em 2 conjuntos de modelados, sendo eles:

a) Área onde o controle estrutural da rede de drenagem favorece as condições de escoamento, predominando a dissecção pelo efeito do escoamento pluvial (unidades I, III, IV, VI, VII e VIII); e b) Área na qual destacam-se as sub-bacias de médio curso com efeitos da dissecção pelo efeito da drenagem fluvial (unidades II e V).

### **5.1.3. Pluviometria**

Os dados pluviométricos da região da bacia hidrográfica do rio Guamá são originários de uma série de dados de 29 anos, com série histórica de 1985-2014, adquiridos a partir do banco de dados de 45 estações da Agência Nacional de Águas. A partir desses dados foi possível estabelecer para o período, as precipitações médias mensais (Figura 12), bem como o acumulado anual (Figura 13).

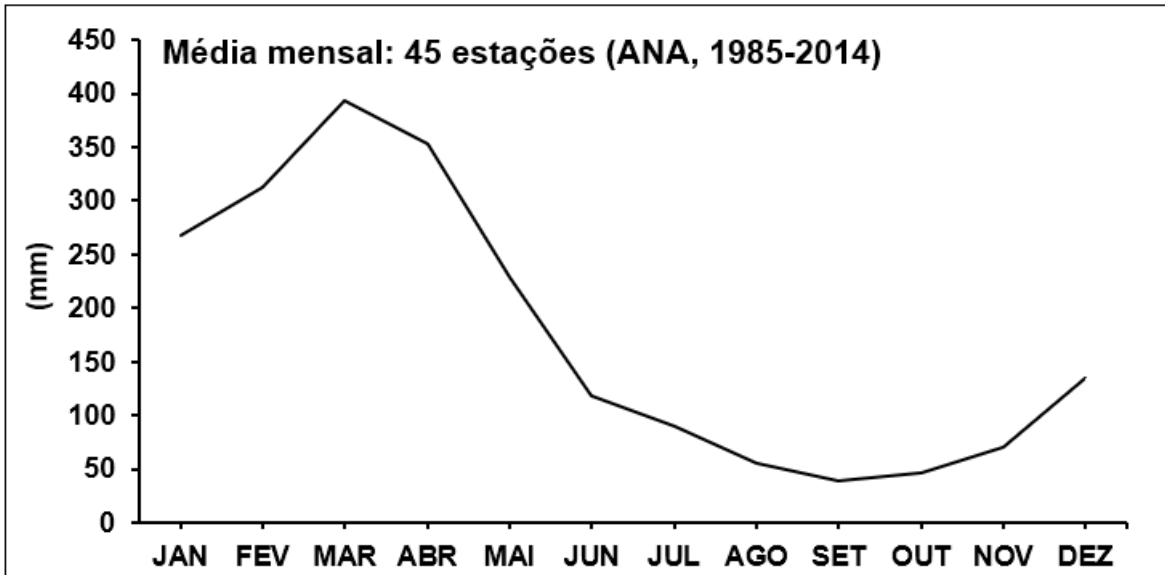


Figura 12- Precipitação de chuva média mensal, da série histórica de 1985-2014, na bacia do rio Guamá. Fonte: ANA.

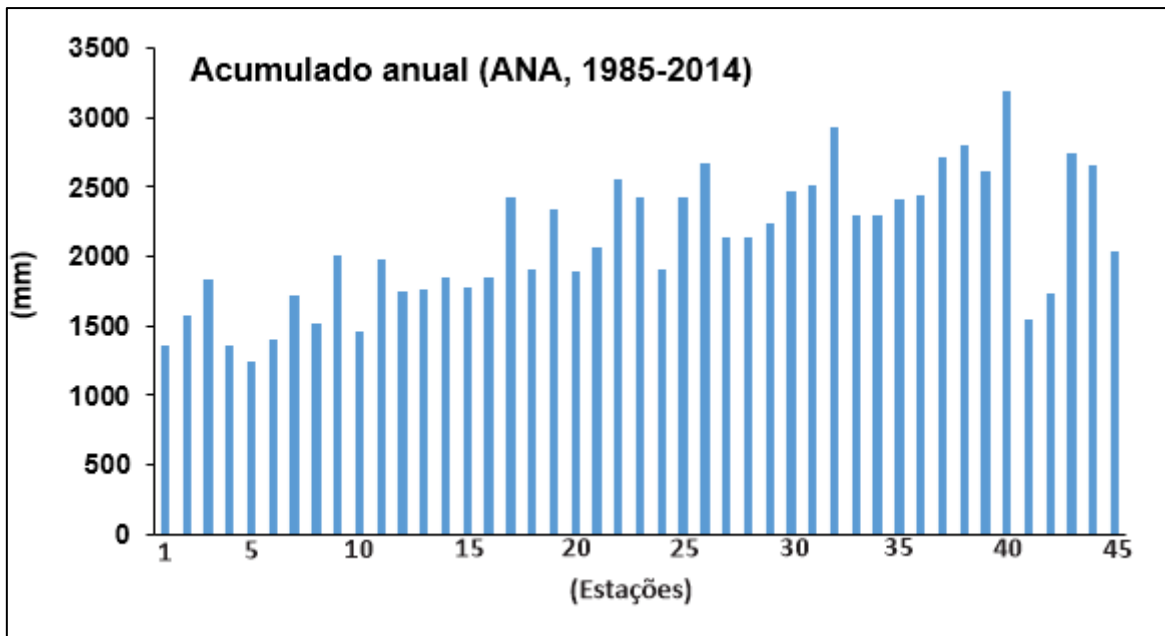


Figura 13- Precipitação de chuva acumulada anual da bacia do rio Guamá, no período de 1985-2015. Fonte: ANA.

A região está inserida na Zona Tropical Chuvosa, onde o clima pode variar entre Af (clima tropical úmido ou equatorial), Aw (clima subtropical com chuvas de inverno) e Amw (clima de monção com chuvas de inverno) caracterizado pela classificação de Köppen, com maior incidência de chuvas no período de janeiro a maio e menor incidência de agosto a outubro (Fisch *et al.* 1998).

De acordo com o gráfico da Figura 12, é possível observar que a região da bacia hidrográfica do rio Guamá apresenta um período com menores índices de chuva entre os meses

de julho a novembro, com cerca de 62,6 mm de precipitação média mensal; e também apresenta um período chuvoso entre os meses de fevereiro a abril, com precipitação média mensal em torno de 350mm. Com isto, o período chuvoso torna-se mais propício ao escoamento do que a infiltração, em decorrência do alto índice pluviométrico, assim como descrito por Guerra (2007).

Ademais, de acordo com a Figura 14 os maiores volumes de chuva se concentram próximo a foz da bacia e os menores índices se concentram nas cabeceiras, marcando o Alto Rio Guamá. A região do Médio Rio Guamá apresenta uma média de precipitação anual com cerca de 2.337,69 mm.

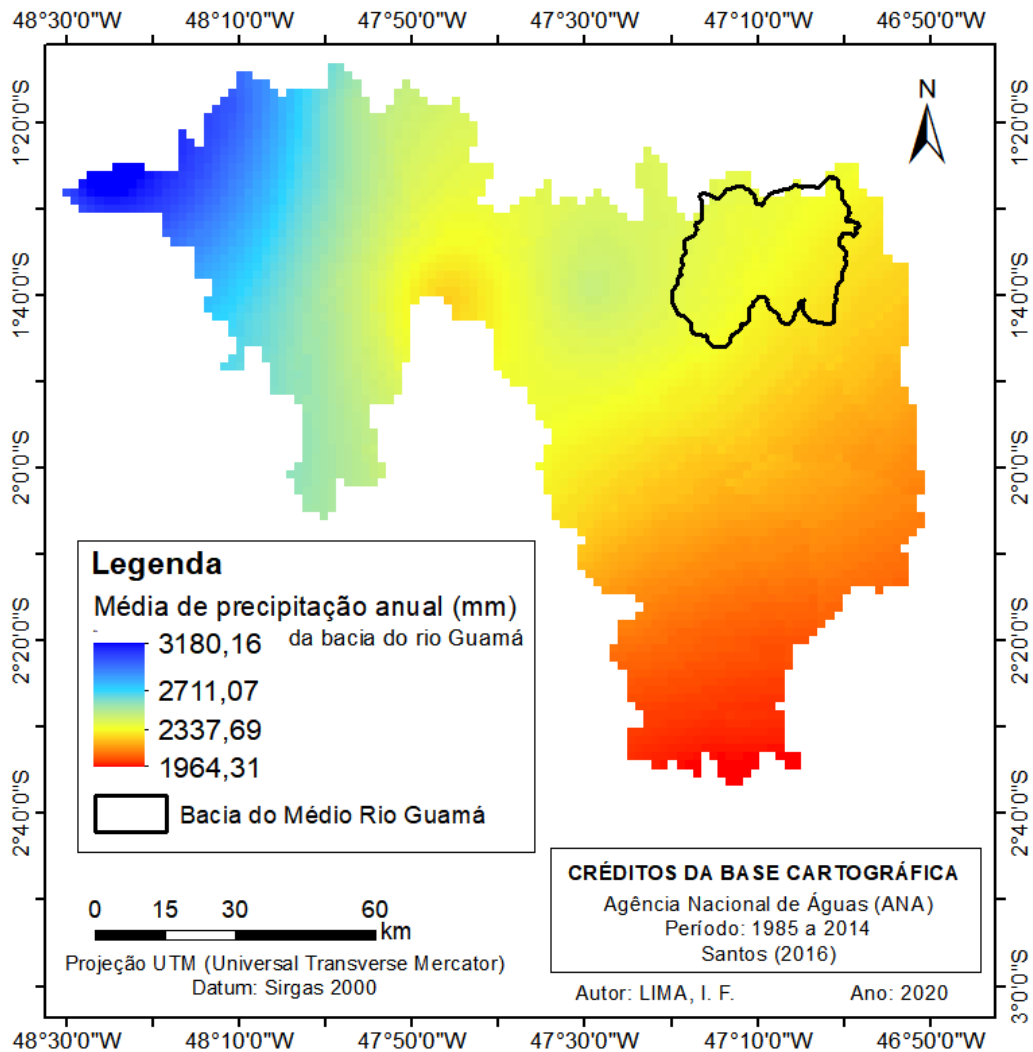


Figura 14- Distribuição da Precipitação Pluviométrica na bacia do rio Guamá, com destaque em preto na região do Médio Rio Guamá.

#### 5.1.4. Hidrografia

A rede de drenagem da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá é de 6ª ordem, segundo o sistema de codificação de Strahler (1952); apresenta orientação principal E-W (canal principal) e N-S, com variações para NE-SW e NW-SE; possui padrão de drenagem treliça/angular e dendrítico, localmente paralelo; e possui maior densidade de canais na porção nordeste da área (Figura 15).

A BHMRG foi compartimentada em nove sub-bacias, seguindo a divisão das Otto Bacias disponibilizadas pela ANA, as quais foram intituladas de acordo com o nome dos seus respectivos canais principais (de maior ordem), sendo elas: bacia do Igarapé Ajará, bacia do Igarapé Açú, bacia do Igarapé Cuia, bacia do Igarapé Curuçá; bacia do Igarapé Grande, bacia do Igarapé João Alves; bacia do Igarapé Pacuí Claro; bacia do Igarapé Pacuí Miri e bacia do Igarapé Puraquequara.

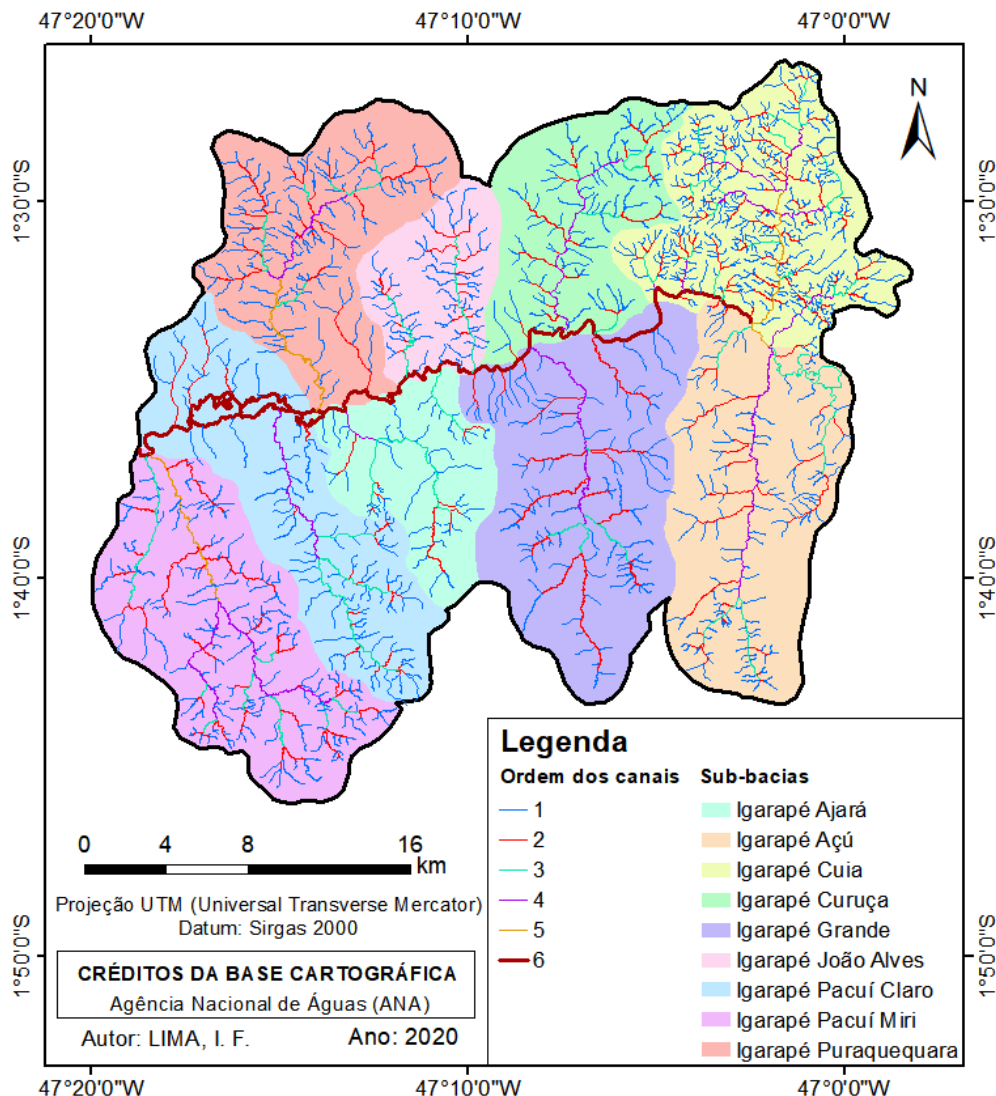


Figura 15- Ordem da rede de drenagem e divisão hidrográfica da bacia do Médio Rio Guamá.

### 5.1.5. Solos

As classes solos presente no médio curso da bacia hidrográfica do rio Guamá são: gleissolo háplico distrófico, latossolo amarelo distrófico e argissolo vermelho-amarelo distrófico (Figura 16).

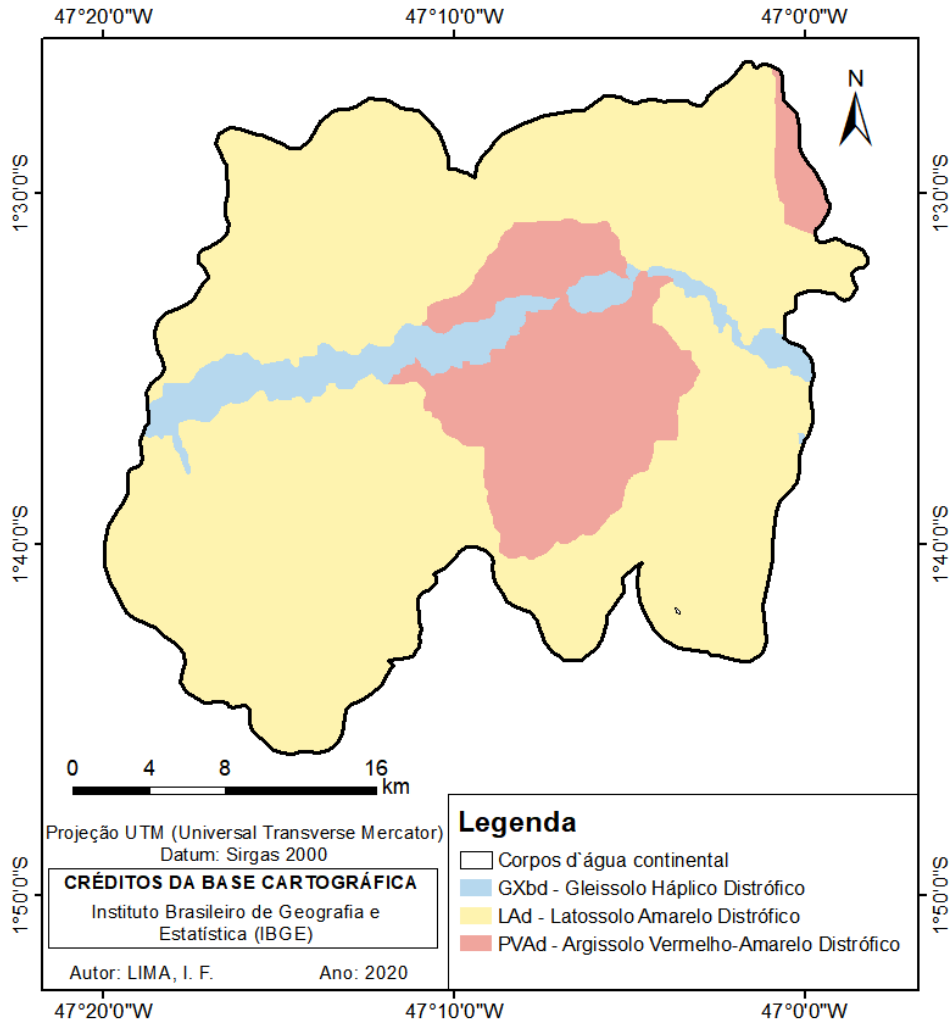


Figura 16- Mapa de solos da BHMGR.

Segundo IBGE (2015), gleissolos háplicos distróficos são solos com baixa fertilidade característicos de áreas alagadas, ou sujeitas a alagamento, podendo apresentar cores acizentadas, azuladas ou esverdeadas. Na BHMGR eles são localizados nas margens e arredores do rio Guamá.

Os latossolos ocupam a maior parte da área da bacia por serem desenvolvidos principalmente de sedimentos da Formação Barreiras, caracterizados como solos de cor amarela, profundos, com baixa fertilidade natural e boa drenagem (Santos *et ai.* 2018). Por serem solos bem drenados, maiores são os riscos de degradação por erosão hídrica, principalmente em relevos mais acidentados (Volk *et ai.* 2004).

O argissolo vermelho-amarelo é a classe de solo mais extensa no Brasil, são argilas de baixa fertilidade e ocorrem em áreas de relevos íngrimes e dissecados (Santos *et al.* 2018). Na região do médio curso do rio Guamá eles ocorrem junto aos terrenos onde estão localizadas as rochas cristalinas pertencentes ao Cinturão Gurupi.

### 5.1.6. Uso e cobertura da terra

Foram diferenciadas treze classes de uso e ocupação da terra, sendo elas: área florestal, área agrícola, reflorestamento, vegetação secundária, pastagem, solo exposto, área de exploração mineral, açude/lago, rio, cidade, vila, complexo industrial e propriedade rural (Figura 17).

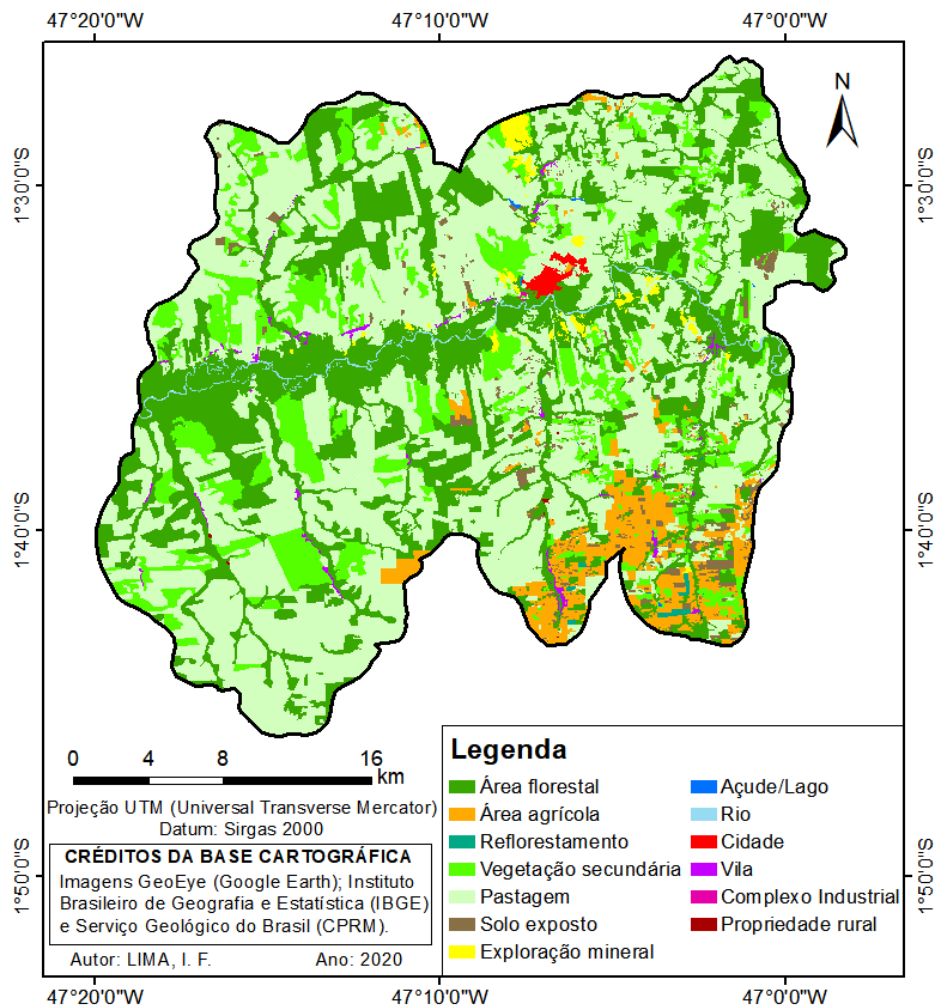


Figura 17- Carta de uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Médio Rio Guamá.

De acordo com os resultados obtidos, a classe “pastagem” é a mais expressiva, ocupando 49,39% da área. Esta classe considera áreas destinadas a atividade pecuária. A classe “área agrícola” ocupa 4,66% da área, sendo representadas por áreas destinadas a plantios agrícolas temporários ou permanentes, de subsistência ou intensivo. Outra classe diretamente relacionada

à economia da região é a “exploração mineral”, a qual abrange 0,82% da área. Esta classe abrange áreas de extração de seixo e areia branca.

As classes que representam a vegetação são formadas por “área florestal” ocupando 29,93%, “vegetação secundária” 12,17% e “reflorestamento” 0,12%. Estas incluem as formações pioneiras herbáceas e arbustivas, de influência fluvial, assim como a floresta ombrófila densa.

As classes “cidade”, “vila”, “propriedade rural” e “complexo industrial” constituem as áreas urbanizadas dos municípios, as quais geralmente se localizam próximas às margens dos rios, e constituem 0,77% da área. As águas continentais presentes são os rios (0,48%), de caráter meandrante, e os lagos e açudes (0,045%) por vezes relacionados à piscicultura. Por fim, tem-se a classe “solo exposto”, ocupando uma área de 1,56%, normalmente relacionadas à preparação do solo para plantio agrícola ou de pastagens para pecuária.

As áreas de exploração mineral estão concentradas principalmente nas porções central, norte e leste da bacia hidrográfica, com algumas ocorrências a oeste e sudeste. A partir do trabalho de campo feito nas regiões das seixeiras, pode-se notar a intensa prática agropecuária ao redor das minas, além da predominância de vegetação secundária em relação à floresta nativa. Áreas de florestas nativas foram observadas apenas em locais muito próximos aos cursos de água (Figura 18).

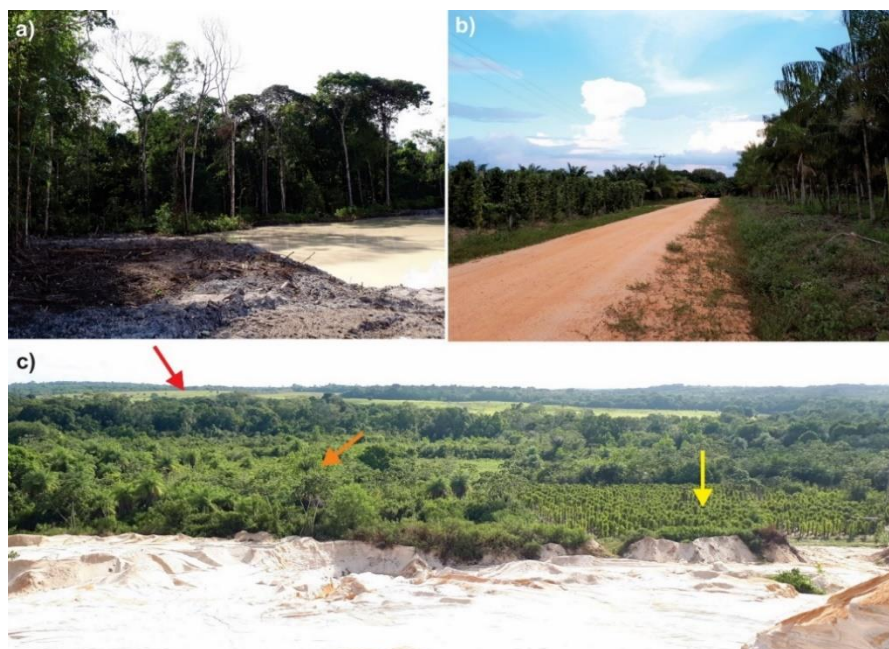


Figura 18- Registros do uso da terra nas regiões ao redor das minas localizadas na BHMRG. a) Floresta nativa ao redor de uma seixeira recém aberta (Seixeira Aurora), porção central da bacia; b) Plantio de pimenta (à esquerda) e açai (à direita) em uma estrada em direção à Seixeira do Nédio, porção sudeste da bacia; c) Registro do ponto mais alto de uma seixeira localizada ao norte da bacia, cercada por vegetação secundária (seta laranja), plantios (seta amarela) e área de pasto (seta vermelha).

Os resultados obtidos são compatíveis com o trabalho de Nascimento & Fernandes (2017), para bacias hidrográficas dessa região. Estes salientam que a vegetação natural se encontra bastante modificada, caracterizando-se como uma área consideravelmente antropizada, apresentando um intenso uso do solo. Vale ressaltar que esse fato intensifica consideravelmente a erosão na bacia hidrográfica e a evolução das voçorocas localizadas na minas de seixo, visto que segundo Araújo (2016) os processos erosivos podem ser induzidos e/ou acelerados pela ação humana, principalmente quando as ações são conduzidas sem planejamento em relação à dinâmica do meio onde ocorre a atuação antrópica.

## 5.2. MAPEAMENTO DAS VOÇOROCAS NAS ÁREAS DE MINERAÇÃO DA BHMGO

A partir da análise de imagens de satélite e de informações obtidas por meio do trabalho de campo, foram identificadas e mapeadas 10 voçorocas na bacia hidrográfica do Médio Guamá Oeste, as quais estão inseridas nas sub-bacias: Igarapé Açú, Igarapé Curuçá, Igarapé Grande e Igarapé João Alves. Ademais, as voçorocas foram agrupadas e descritas por região em cada sub-bacia (Tabela 4).

Dentre as voçorocas mapeadas, cinco foram originadas a partir de antigas cavas abandonadas (voçorocas A, E, F, G e I), quatro foram originadas nas vertentes de morros e morrotes formados a partir do acúmulo de rejeito advindo do processamento da atividade mineral (voçorocas B,C,D e H) e uma foi formada a partir da abertura de canais de escoamento (voçoroca J).

Tabela 4- Informações principais das voçorocas mapeadas, com suas respectivas localizações e características.

Bacia hidrográfica	Igarapé Açú		Igarapé Curuçá		Igarapé Grande				Igarapé João Alves	
	Alto curso	Baixo curso	Alto curso	Baixo curso	Baixo curso				Baixo curso	
Seixeira	Seixeira do Nédio	Seixeira do Zeca	Santo Antônio 2	Abandonada	Franco Mineração	Aurora	Santa Clara	Seixeira do Barbudo	Santo Antônio 1	Seixeira do Prefeito 02
Voçoroca	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Desconectada	Desconectada	Desconectada	Desconectada	Desconectada	Desconectada	Conectada	Desconectada	Desconectada	Desconectada
Forma	Irregular	Ramificada	Ramificada	Ramificada	Irregular	Irregular	Ramificada	Irregular	Irregular	Linear
Área (m <sup>2</sup> )	1.281,5	412,8	1.389,6	8.467,8	426,5	7.741,2	943,9	2.128,9	3521,1	85,3
Comprimento (m)	47	45	50	62,5	22	136	71	93	94	27
Largura (m)	30	11	30	70	17,5	70,5	15,5	27	35	3
Profundidade (m)	5,6	8	12,8	16	4,2	3,8	13,3	4,5	3,2	1,6
Volume erodido (m <sup>3</sup> )	7.176,4	3.302,4	17.786,8	135.484,8	1.791,3	29.416,5	12.553,8	9.580,1	11.267,5	136,5

### 5.2.1. Alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú

Na região do alto curso da bacia do Igarapé Açú foi mapeada a voçoroca "A", localizada na Seixeira do Nédio nas coordenadas geográficas 01°41'10,8"S e 047°02'53,8"W, a aproximadamente 8 km da sede do município de Capitão Poço (Figura 19).

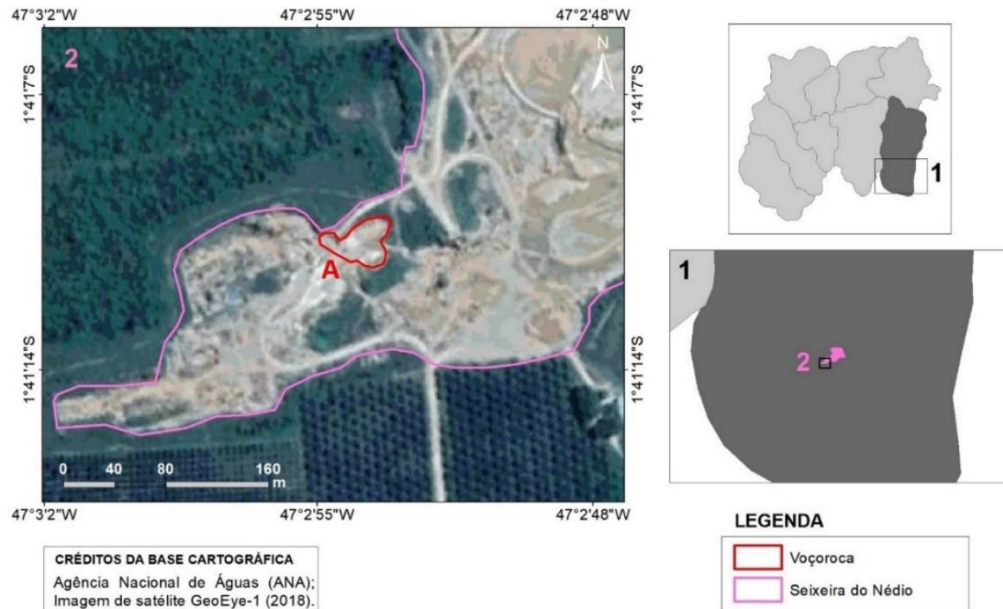


Figura 19- Mapa de localização da voçoroca "A", formada dentro da mina "Seixeira do Nédio" (2) e localizada na região do alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú (1). Fonte: Elaborado pela autora.

A voçoroca é oriunda de uma antiga cava abandonada, a qual está inserida em um terreno marcado por baixa variação topográfica e baixa declividade (Figura 20). O material observado nela é de composição heterogênea, apresentando horizonte de areia fina a média na base, gradando para um horizonte argilo-siltoso em direção ao topo. Além disso, também é possível observar clastos de quartzo de até 5cm dispersos no perfil.

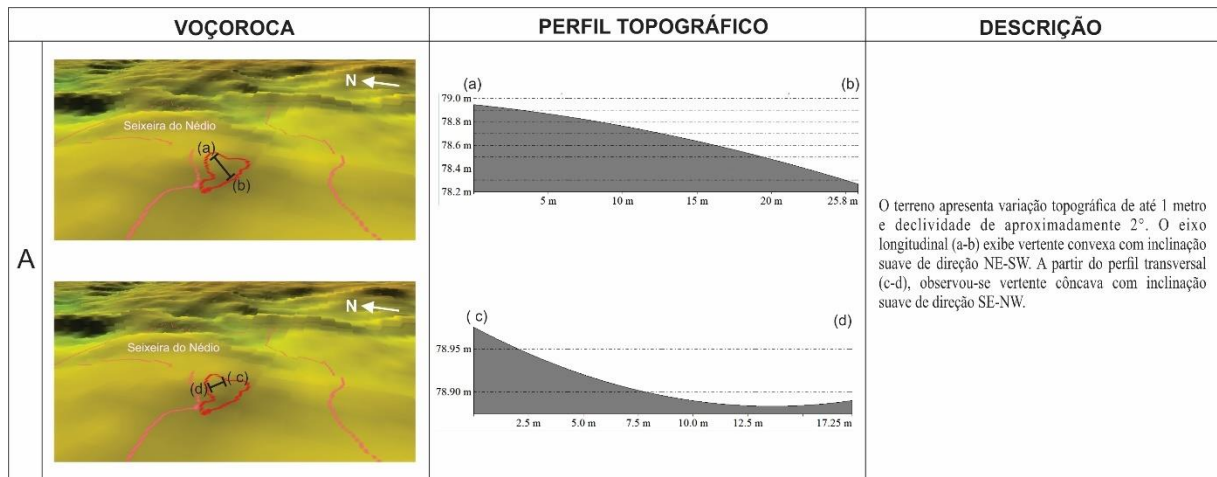


Figura 20- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca "A". Fonte: Elaborado pela autora.

Classificou-se a voçoroca como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada diretamente ao escoamento superficial; de **forma** irregular, seguindo a geometria da cava a qual originou a voçoroca; e de **tamanho** pequena, com volume de aproximadamente  $7.176\text{m}^3$  de solo erodido. A voçoroca tem em média 47m de comprimento, 30m de largura e 5,6m de profundidade (Figura 21).

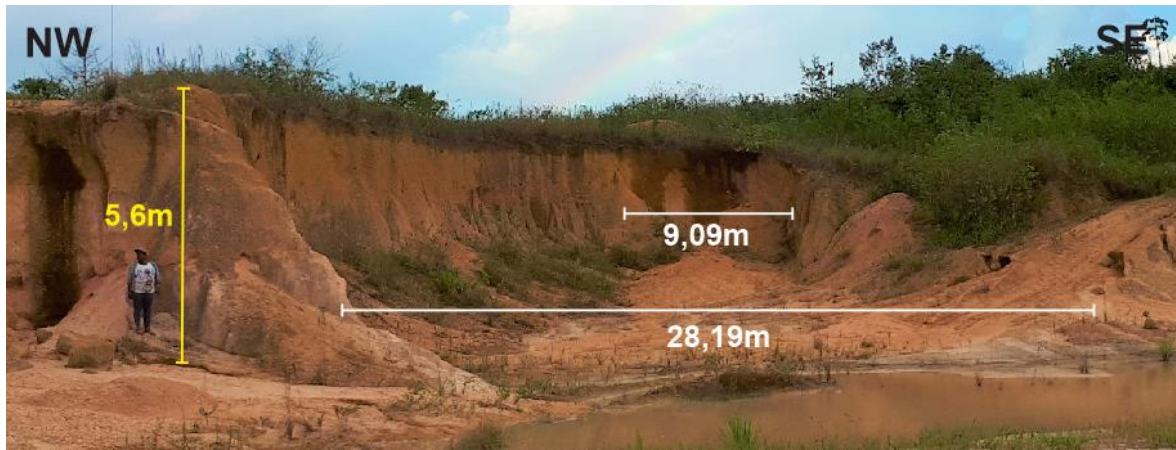


Figura 21- Dimensões da crista da voçoroca "A", dados adquiridos em fase de campo. Fonte: Elaborado pela autora.

Também foram identificadas feições erosivas, tais como: alcovas de regressão, pedestais, escamamento, dutos, marmitas, filetes subverticais e movimento de massa (Figura 22). Além disso, foram observadas estruturas sedimentares de gretas de contração na base da voçoroca.

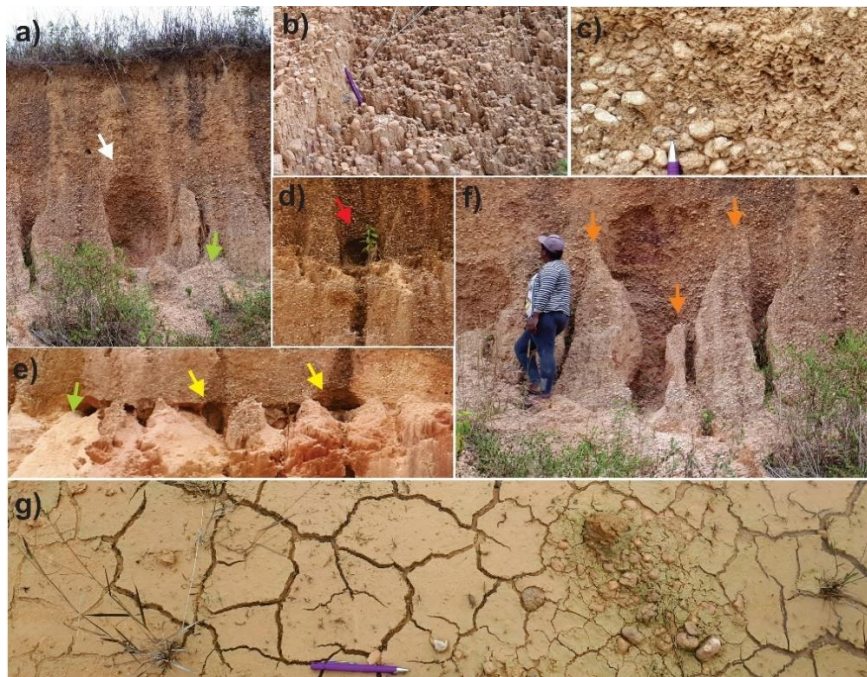


Figura 22- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca "A": a) Alcova de regressão indicada pela seta branca e movimento de massa indicado pela seta verde; b) Pedestais; c) Escamamentos; d) Duto indicado pela seta vermelha; e) Marmitas indicadas por setas amarelas e movimento de massa indicado pela seta verde; f) Filetes subverticais indicados por setas laranjas.

Estrutura sedimentar de greta de contração observada no piso da voçoroca “A” (g). Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.2. Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú

Na região do baixo curso da bacia do Igarapé Açú foi mapeada a voçoroca “B”, localizada na Seixeira do Zeca nas coordenadas geográficas 01°34'55,5"S e 047°01'36,5"W, a aproximadamente 13 km da sede do município de Ourém (Figura 23).

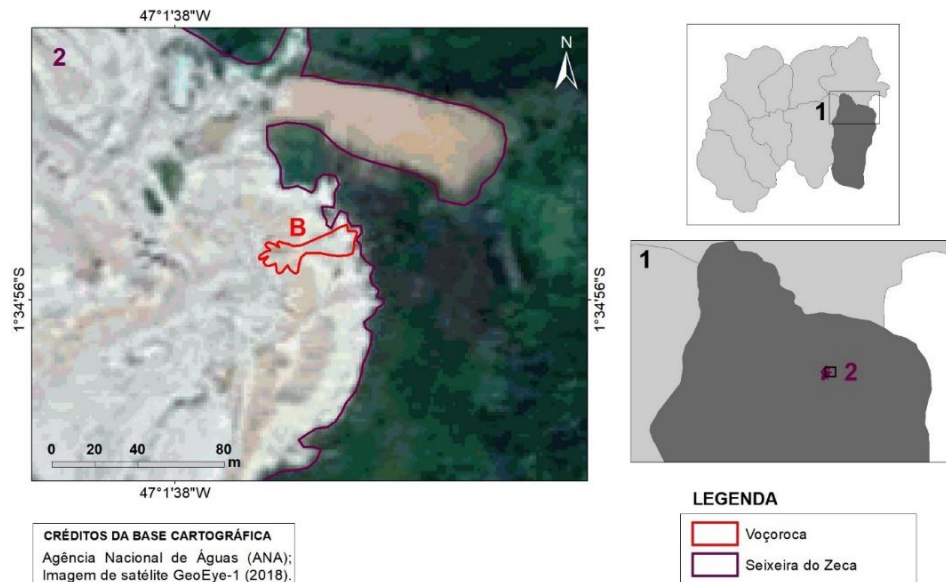


Figura 23- Mapa de localização da voçoroca "B", formada dentro da mina "Seixeira do Zeca" (2) e localizada na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Açú (1). Fonte: Elaborado pela autora.

A voçoroca encontra-se inserida em um terreno originalmente marcado por baixa variação topográfica e baixa declividade (Figura 24). Entretanto, a morfologia original do terreno apresenta-se modificada a partir do acúmulo de rejeito advindo da atividade mineral. O material observado na voçoroca é de composição heterogênea, apresentando areia muito fina na base, gradando para areia média em direção ao topo. Também é possível observar em todo o perfil clastos de quartzo de até 0,5cm dispersos em meio ao material arenoso.

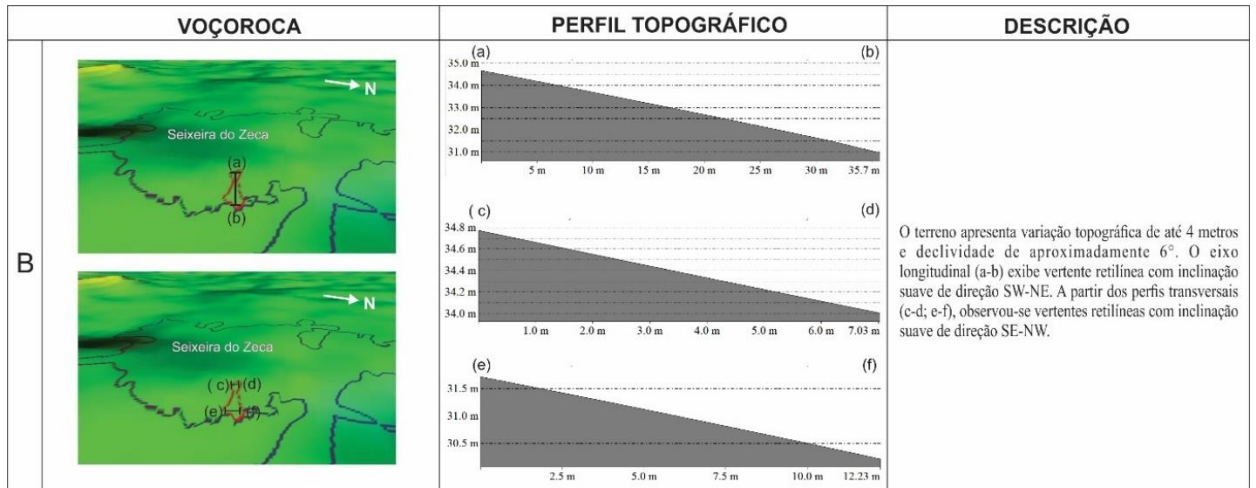


Figura 24- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca "B". Fonte: Elaborado pela autora.

Classificou-se a voçoroca como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada diretamente ao escoamento superficial; de **forma** ramificada, visto que a feição erosiva apresenta ramificações em suas laterais; e de **tamanho** pequena, com aproximadamente 3.302m<sup>3</sup> de solo erodido. A voçoroca tem aproximadamente 45m de comprimento, uma média de 11m de largura e 6,4m de profundidade (Figura 25). Também foram identificadas na voçoroca feições erosivas, tais como: pedestais, escamamento, sulcos, ravinamento e movimento de massa (Figura 26).

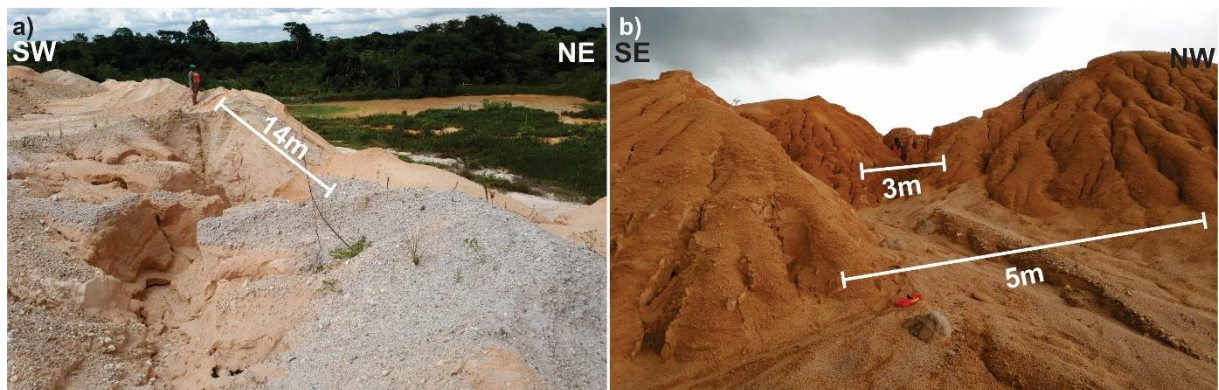


Figura 25- Dimensões da voçoroca "B", dados adquiridos em fase de campo: a) Crista da voçoroca; b) Meio e fim da voçoroca. Fonte: Elaborado pela autora.

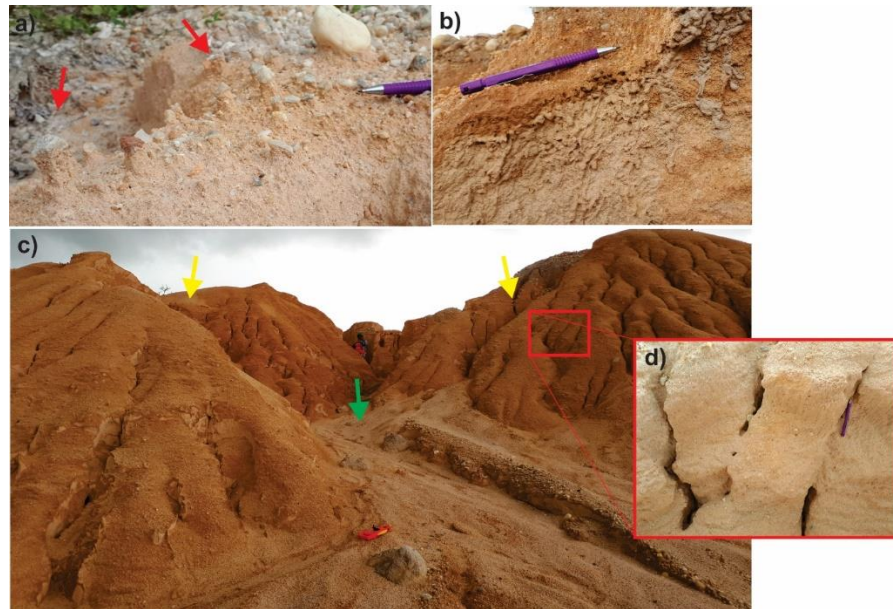


Figura 26- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca "B": a) Pedestais indicados por setas vermelhas; b) Escamamentos; c) Ravinas indicadas por setas amarelas e movimento de massa representado pela seta verde; d) Sulcos. Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.3. Alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá

Na região do alto curso da bacia do Igarapé Curuçá foi mapeada a voçoroca "C", localizada na seixeira Santo Antônio 2 nas coordenadas geográficas  $01^{\circ}29'17,4''\text{S}$  e  $047^{\circ}07'25,1''\text{W}$ , a aproximadamente 7 km da sede do município de Ourém (Figura 27).

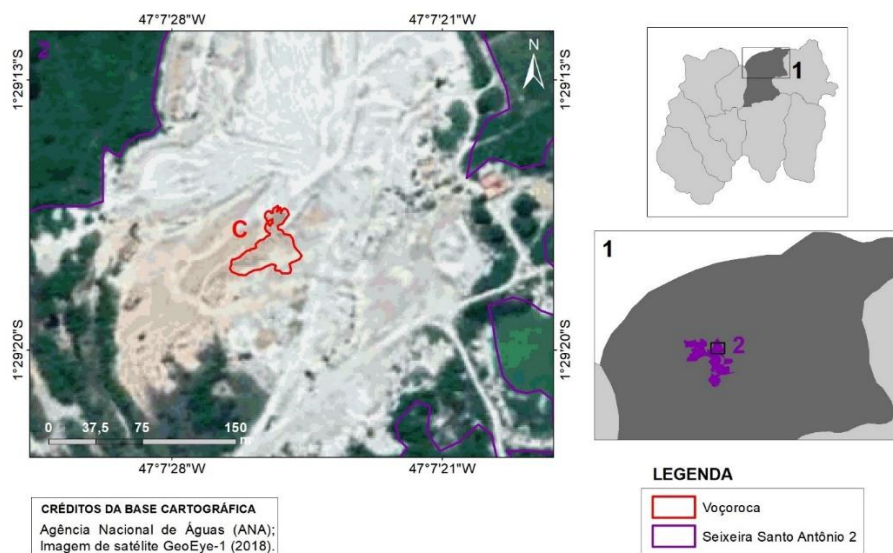


Figura 27- Mapa de localização da voçoroca "C", formada dentro da mina "Santo Antônio 2" (2) e localizada na região do alto curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá (1). Fonte: Elaborado pela autora.

O terreno onde formou-se a voçoroca é originalmente marcado por moderada variação topográfica e baixa declividade (Figura 28). Entretanto, a morfologia original do terreno apresenta-se modificada a partir do acúmulo de rejeito advindo da atividade mineral.

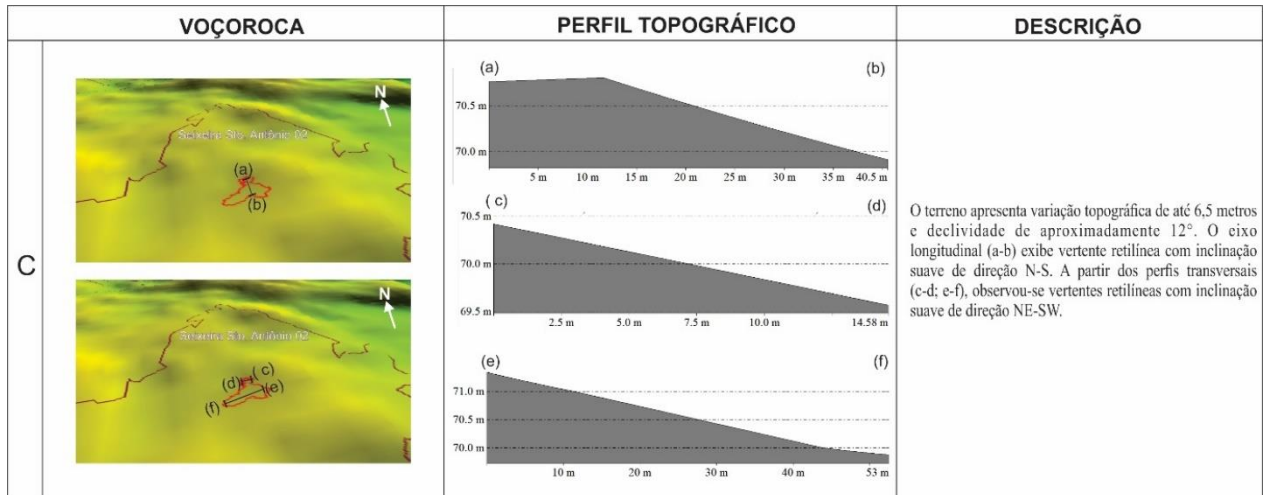


Figura 28- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca “C”. Fonte: Elaborado pela autora.

O rejeito acumulado apresenta duas composições características: 1- a porção central e nordeste do morro é composto por areia branca de granulometria média a grossa, com clastos de quartzo de até 0,5cm dispersos em meio ao material arenoso; 2- já a porção sudoeste do morro é composta por areia avermelhada de granulometria média, apresentando pequena porcentagem de silte e areia muito fina (10-15%) intercalados com o material arenoso, além de clastos de quartzo de até 0,5cm dispersos em meio a matriz areno-siltosa. A voçoroca “C” foi formada na porção sudoeste do morro, exatamente no contato entre areia branca e areia avermelhada (Figura 29).

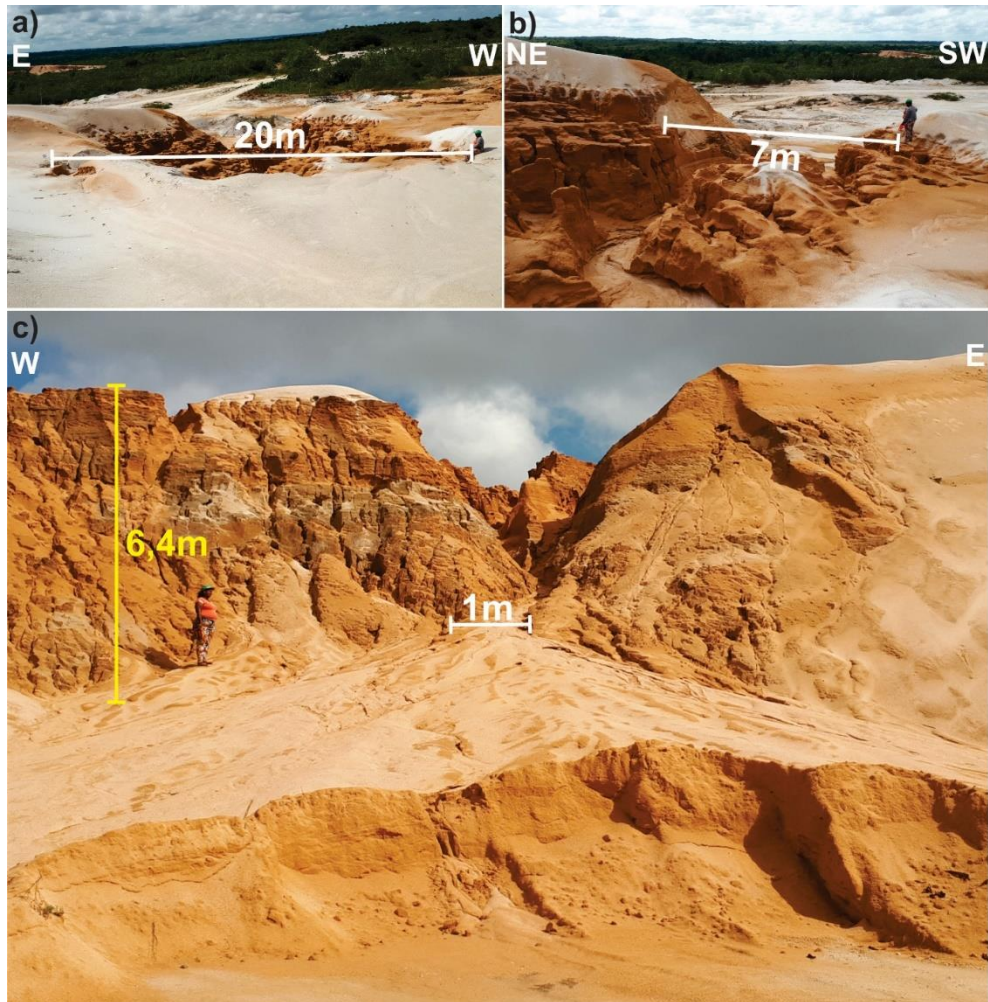


Figura 29- Dimensões da voçoroca "C", dados adquiridos em fase de campo: a) Crista da voçoroca, com destaque para o contato entre a areia branca e a areia avermelhada; b) Outro ângulo da crista da voçoroca; c) Meio e fim da voçoroca. Fonte: Elaborado pela autora.

Classificou-se a voçoroca como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada diretamente ao escoamento superficial; de **forma** ramificada, visto que a feição erosiva apresenta ramificações em suas laterais; e de **tamanho** muito grande, com volume de aproximadamente  $17.786\text{m}^3$  de solo erodido. A voçoroca tem em média 50m de comprimento, 30m de largura e 12m de profundidade (Figura 32). Também foram identificadas na voçoroca feições erosivas, tais como: solapamento, pedestais, escamamento, sulcos, ravinamento, costelas e marmitas (Figura 30).

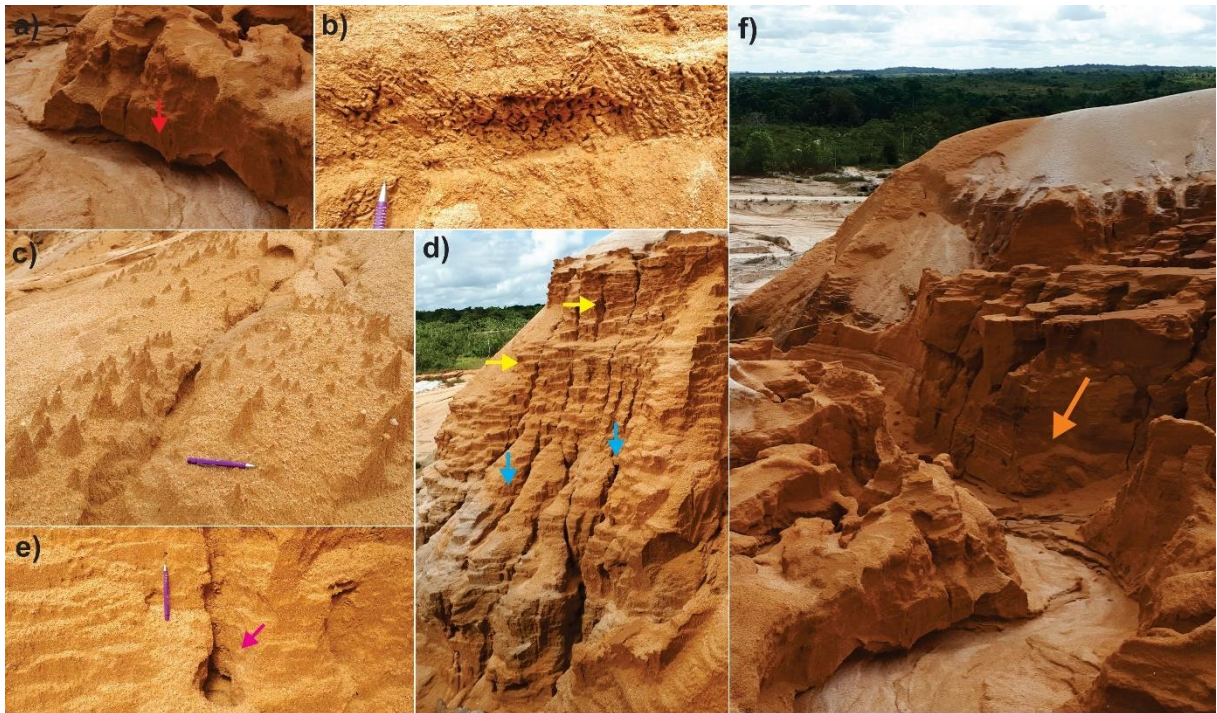


Figura 30- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca "C": a) Solapamento indicado pela seta vermelha; b) Escamamentos; c) Pedestais; d) Sulcos indicados por setas azuis e costelas indicadas por setas amarelas; e) Marmita indicada pela seta rosa; f) Ravina indicada por seta laranja. Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.2.4. Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá

Na região do baixo curso da bacia do Igarapé Curuçá foi mapeada a voçoroca "D", localizada em uma seixeira abandonada nas coordenadas geográficas  $01^{\circ}33'03''\text{S}$  e  $047^{\circ}07'44,7''\text{W}$ , a aproximadamente 1 km da sede do município de Ourém (Figura 31).

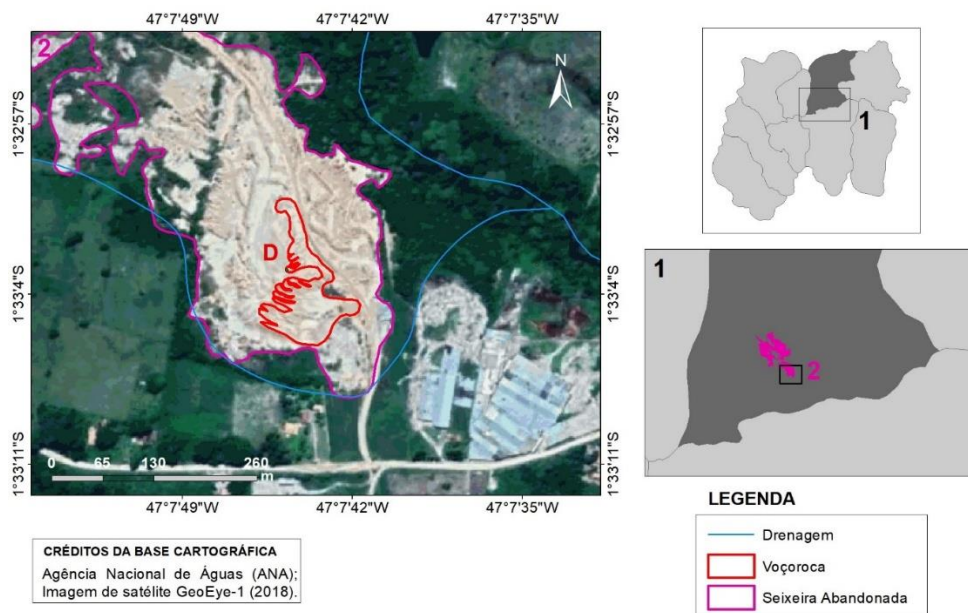


Figura 31- Mapa de localização da voçoroca "D", formada dentro de uma mina abandonada (2) e localizada na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Curuçá (1). Fonte: Elaborado pela autora.

O terreno onde formou-se a voçoroca é originalmente marcado por moderada variação topográfica e baixa declividade (Figura 32). Entretanto, a morfologia original do terreno apresenta-se modificada a partir do acúmulo de rejeito advindo da atividade mineral. O material observado na voçoroca é de composição heterogênea, apresentando areia média a grossa intercalada com areia fina e argila. Além disso, também é possível observar clastos de quartzo de 1 a 10cm dispersos em meio ao material arenoso.

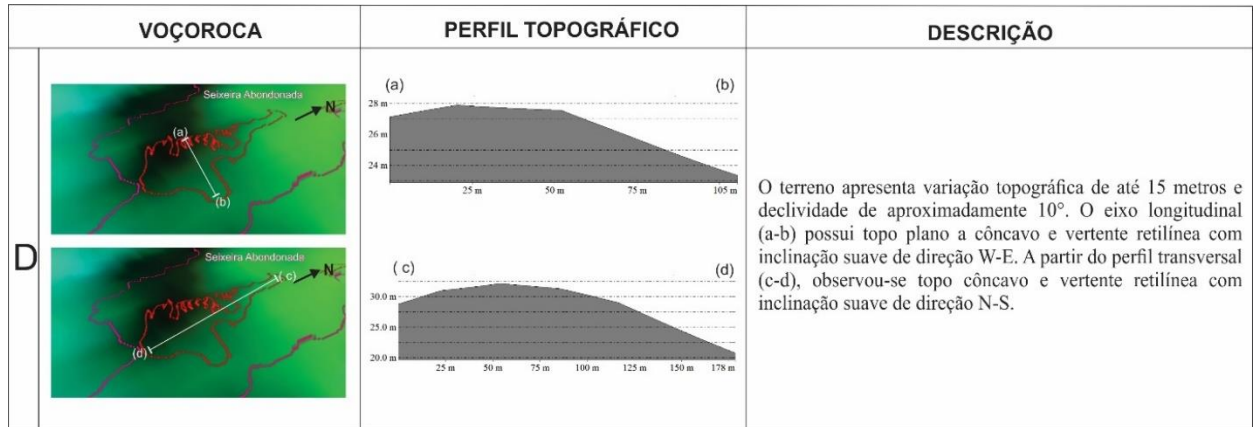


Figura 32- Morfologia do terreno pertencente à voçoroca “D”. Fonte: Elaborado pela autora.

Classificou-se a voçoroca como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada diretamente ao escoamento superficial; de **forma** ramificada, visto que a feição erosiva apresenta ramificações em suas laterais; e de **tamanho** média, com volume de aproximadamente 135.485m<sup>3</sup> de solo erodido. A voçoroca tem em média 62,5m de comprimento, 70m de largura e 16m de profundidade (Figura 33). Também foram identificadas na voçoroca feições erosivas, tais como: alcovas de regressão, escamamento, sulcos, ravinamento, costelas, filetes subverticais, marmitas e movimento de massa (Figura 34).

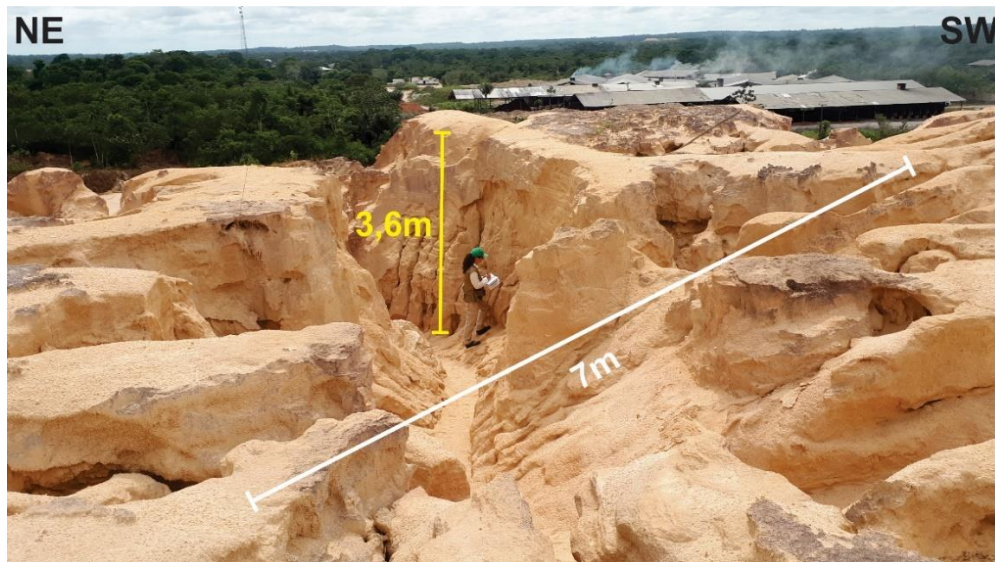


Figura 33- Dimensões da crista da voçoroca "D", dados adquiridos em fase de campo. Fonte: Elaborado pela autora.

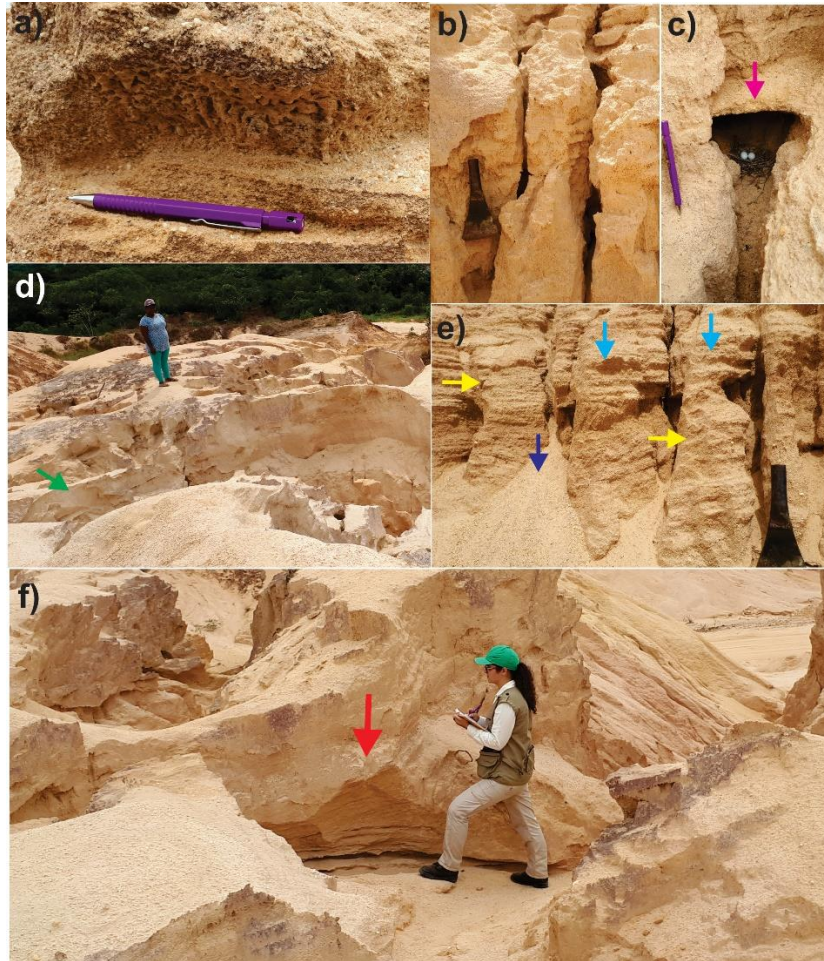


Figura 34- Feições erosivas secundárias observadas nas paredes da voçoroca “D”: a) Escamamentos; b) Sulcos; c) Marmita indicada pela seta rosa; d) Ravinamento indicado pela seta verde; e) Costelas indicadas por setas amarelas, filetes subverticais indicados por setas azul claro e movimento de massa indicado por seta azul escuro; f) Alcova de regressão indicada por seta vermelha. Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.5. Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Grande

Na região do baixo curso da bacia do Igarapé Grande foram mapeadas quatro voçorocas (E,F,G e H), localizadas nas seixeiros Franco Mineração, Aurora, Santa Clara e Seixeira do Barbudo, respectivamente nas coordenadas geográficas  $01^{\circ}34'50,2''S/047^{\circ}08'26,2''W$ ;  $01^{\circ}34'28,5''S/047^{\circ}06'46,4''W$ ;  $01^{\circ}33'21,8''S/047^{\circ}03'57''W$ ; e  $01^{\circ}34'02''S/047^{\circ}05'52''W$ , em um raio de aproximadamente 5km da sede do município de Ourém (Figura 35).

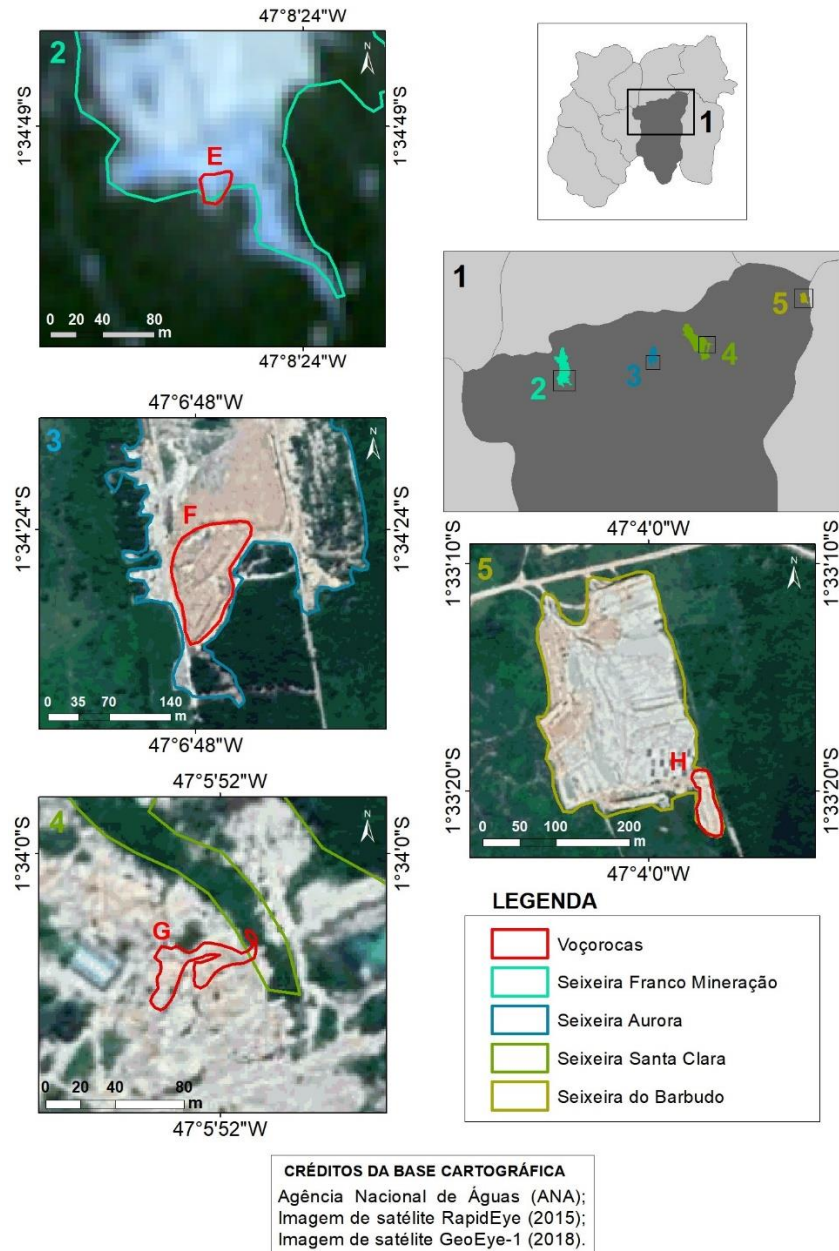


Figura 35- Mapa de localização das voçorocas "E", "F", "G" e "H", respectivamente inseridas nas seixiras "Franco Mineração" (2), "Aurora" (3), "Santa Clara" (4) e "Seixaira do Barbudo" (5); localizadas na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé Grande (1). Fonte: Elaborado pela autora.

Três dessas voçorocas foram originadas a partir de antigas cavas (voçorocas E, F e H) e apenas uma é oriunda do acúmulo de rejeito advindo da atividade mineral (voçoroca G). Além disso, elas estão localizadas em terrenos marcados por baixa variação topográfica e baixa declividade, com exceção da voçoroca "G", que está inserida em um terreno de variação topográfica moderada (Figura 36).

	VOÇOROCA	PERFIL TOPOGRÁFICO	DESCRIÇÃO
E	<p>Seixeira Franco Muruzágoa</p>		<p>O terreno apresenta variação topográfica de até 3 metros e declividade de aproximadamente <math>11^\circ</math>. O eixo longitudinal (a-b) exhibe vertente retilínea com inclinação suave de direção NNW-SSE. A partir do perfil transversal (c-d), observou-se vertente retilínea com inclinação suave de direção E-W.</p>
F	<p>Seixeira Aurora</p>		<p>O terreno apresenta variação topográfica de até 3,5 metros e declividade de aproximadamente <math>5^\circ</math>. O eixo longitudinal (a'-b') exhibe vertente côncava com inclinação suave de direção NNE-SSW. A partir dos perfis transversais (c'-d'; e'-f'), observou-se vertentes retilíneas com inclinação suave de direção E-W.</p>
G	<p>Seixeira Santa Clara</p>		<p>O terreno apresenta variação topográfica de até 8 metros e declividade de aproximadamente <math>7^\circ</math>. O eixo longitudinal (w-x) exhibe vertente retilínea com inclinação suave de direção WSW-ENE. A partir do perfil transversal (y-z), observou-se vertente retilínea com inclinação suave de direção SSW-NNE.</p>
H	<p>Seixeira do Barbudo</p>		<p>O terreno apresenta variação topográfica de até 4,5 metros e declividade de aproximadamente <math>6^\circ</math>. O eixo longitudinal (w'-x') exhibe vertente retilínea com inclinação suave de direção NNW-SSE. A partir do perfil transversal (y'-z'), observou-se vertente retilínea com inclinação suave de direção E-W.</p>

Figura 36- Morfologia dos terrenos pertencentes às voçorocas “E”, “F”, “G” e “H”. Fonte: Elaborado pela autora.

Todas as feições erosivas mapeadas nessa região apresentam material de composição heterogênea, com argila na base, gradando para granulometria silte em direção ao topo. Além disso, também foram observados clastos de quartzo de até 7cm dispersos em meio ao material argilo-siltoso, com maior concentração nas porções basais.

Classificaram-se as voçorocas “E”, “F” e “H” como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada diretamente ao escoamento superficial; de **forma** irregular, seguindo a geometria da cava a qual originou a voçoroca; e de **tamanhos** pequena para as voçorocas “E” e “H” (com volumes entre 1.000 a 9.999m<sup>3</sup>) e grande para a voçoroca “F” (com volume de aproximadamente 29.416m<sup>3</sup>). A voçoroca “G” foi classificada como: do **tipo** conectada, com a erosão do solo relacionada ao escoamento superficial e subterrâneo; de **forma** ramificada, visto que a feição erosiva apresenta ramificações em suas laterais; e de **tamanho** pequena, com volume de aproximadamente 9.580m<sup>3</sup> (Figura 37).

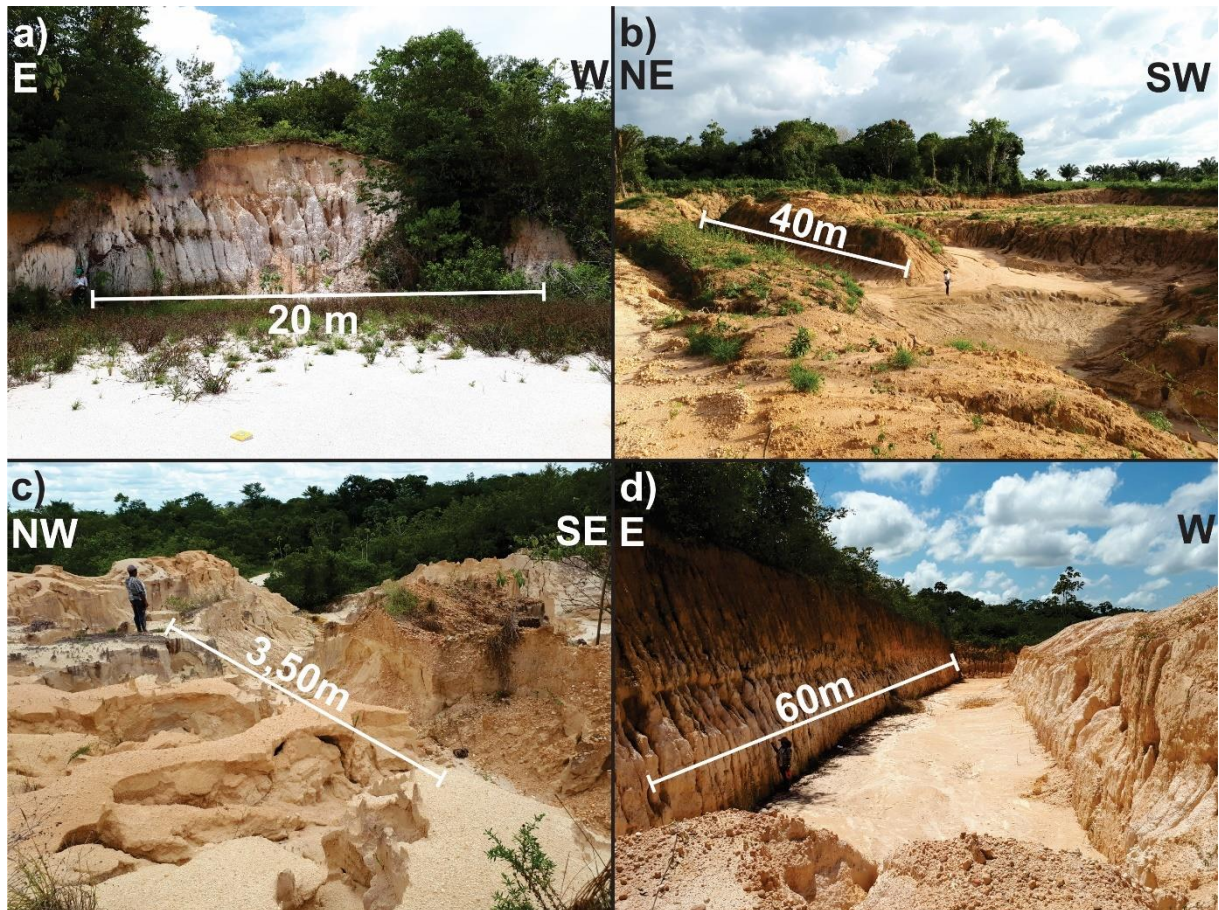


Figura 37- Dimensões das voçorocas mapeadas na região do baixo curso da bacia do Igarapé Grande, dados adquiridos em fase de campo: a) Visão geral da voçoroca “E”; b) Visão geral da voçoroca “F”; c) Crista da voçoroca “G”; d) Visão geral da voçoroca “H”. Fonte: Elaborado pela autora.

Também foram identificadas nessas voçorocas outras feições erosivas secundárias, tais como: alcovas de regressão, pedestais, escamamento, sulcos, dutos, canais, ravinamento, filetes subverticais e movimento de massa (Figura 38). Além disso, foram observadas estruturas

sedimentares de gretas de contração na base da voçoroca.

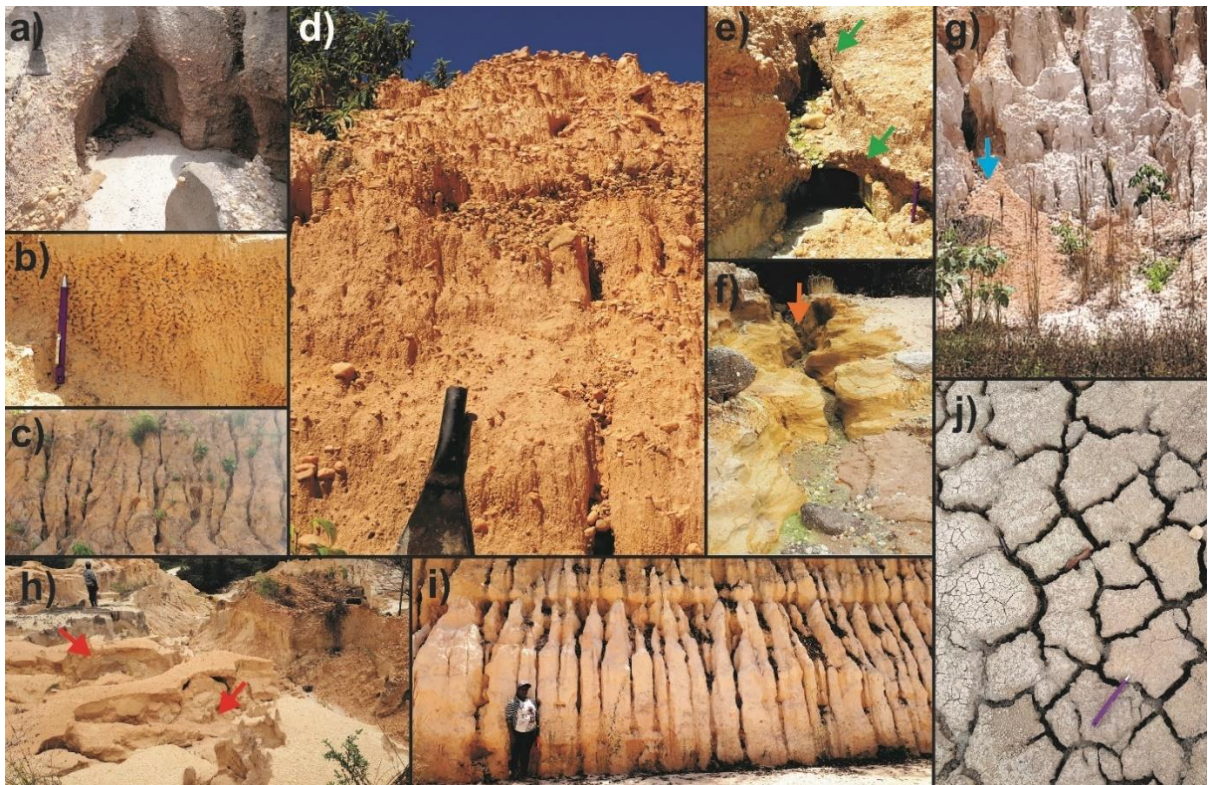


Figura 38- Feições erosivas secundárias observadas nas voçorocas da região do baixo curso da bacia do Igarapé Grande: a) Alcova de regressão (voçoroca “E”); b) Escamamentos (voçoroca “G”); c) Sulcos (voçoroca “F”); d) Pedestais (voçoroca “H”); e) Dutos indicados por setas verdes (voçoroca “G”); f) Canal de escoamento superficial incicado por seta laranja (voçoroca “G”); g) Movimento de massa indicado por seta azul (voçoroca “E”); h) Ravinamentos indicados por setas vermelhas (voçoroca “G”); i) Filetes subverticais (voçoroca “H”). Estrutura sedimentar de greta de contração observada no piso da voçoroca “F” (j) Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.6. Baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé João Alves

Na região do baixo curso da bacia do Igarapé Grande foram mapeadas duas voçorocas (I e J), localizadas nas seixeiros Santo Antônio 1 e Seixeira do Prefeito 02, respectivamente nas coordenadas geográficas  $01^{\circ}34'02,2''\text{S}/047^{\circ}10'52,3''\text{W}$  e  $01^{\circ}33'45,4''\text{S}/047^{\circ}10'37,9''\text{W}$ , a aproximadamente 7km da sede do município de Ourém (Figura 39).

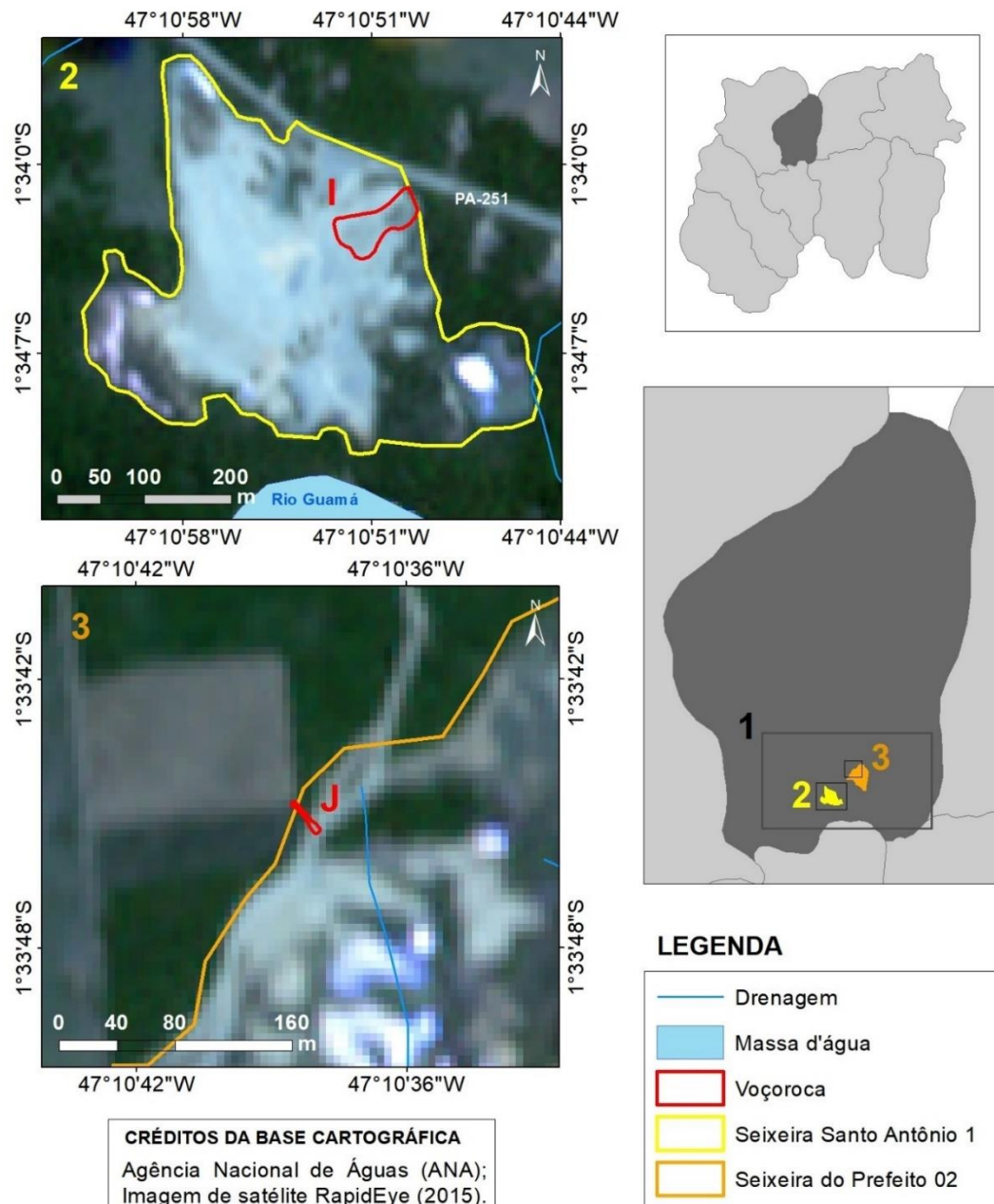


Figura 39- Mapa de localização das voçorocas "I" e "J", respectivamente inseridas nas seixeiros "Santo Antônio 1" (2) e "Seixeira do Prefeito 02" (3), localizadas na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Igarapé João Alves (1). Fonte: Elaborado pela autora.

A voçoroca "I" foi originada a partir de uma antiga cava e a voçoroca "J" é oriunda da abertura de um canal de escoamento de água superficial, o qual ajuda a abastecer um açude recentemente aberto. Além disso, ambas estão localizadas em terrenos marcados por baixa variação topográfica e baixa declividade (Figura 40). Todas as voçorocas mapeadas nessa região apresentam material de composição heterogênea, com argila e silte na base, gradando para granulometria areia fina a média em direção ao topo. Além disso, também foram observados clastos de quartzo de até 5cm dispersos em meio as matrizes arenosas e argilo-siltosas.

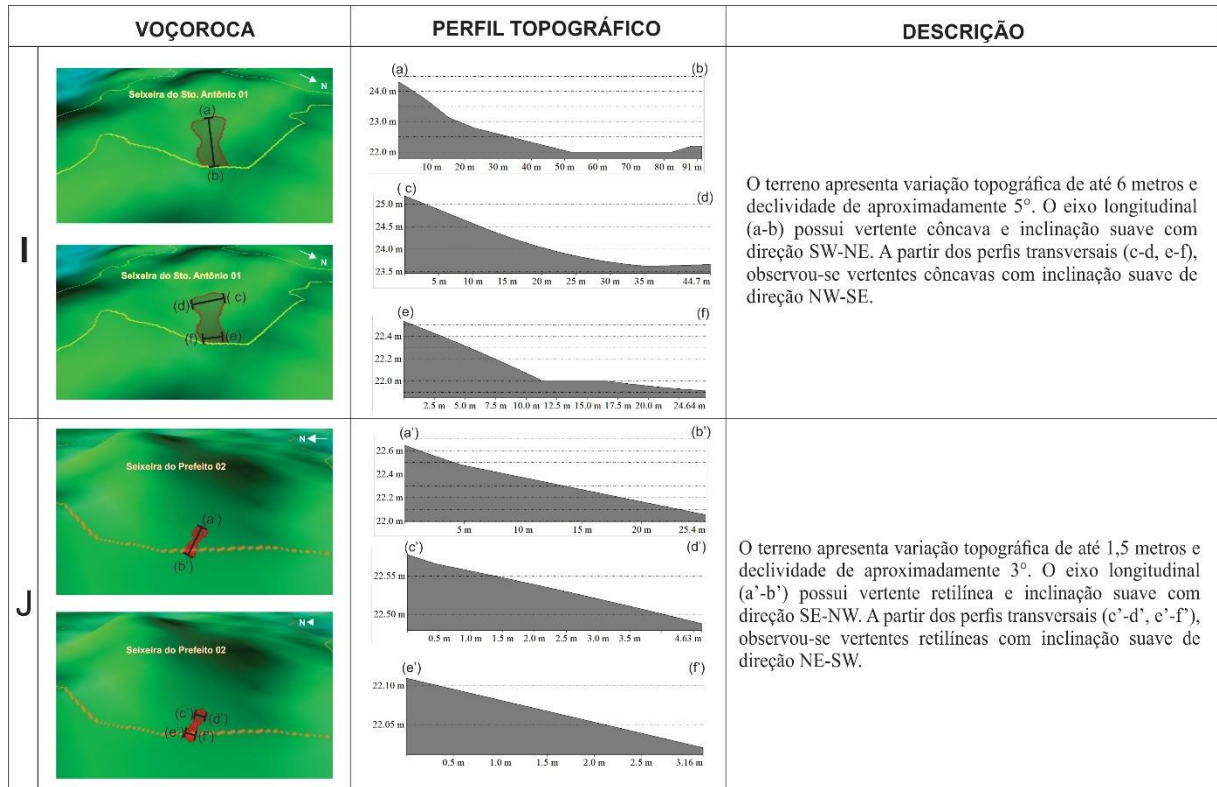


Figura 40- Morfologia dos terrenos pertencentes às voçorocas “I” e “J”. Fonte: Elaborado pela autora.

Classificou-se a voçoroca “I” como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada diretamente ao escoamento superficial; de **forma** irregular, seguindo a geometria da cava a qual originou a voçoroca; e de **tamanho** pequena, com volume de aproximadamente 11.268m<sup>3</sup>. A voçoroca “J” foi classificada como: do **tipo** desconectada, com a erosão do solo relacionada ao escoamento superficial; de **forma** linear, seguindo a geometria do canal que originou a voçoroca; e de **tamanho** muito pequena, com volume de aproximadamente 137m<sup>3</sup> (Figura 41).



Figura 41- Dimensões das voçorocas mapeadas na região do baixo curso da bacia do Igarapé João Alves, dados adquiridos em fase de campo: a) Visão de parte da voçoroca “I”; b) Visão da crista da voçoroca “J”. Fonte: Elaborado pela autora.

Também foram identificadas nessas voçorocas outras feições erosivas secundárias, tais como: pedestais, dutos, sulcos e ravinamento (Figura 42). Além disso, foram observadas estruturas sedimentares de gretas de contração na base da voçoroca “J”.

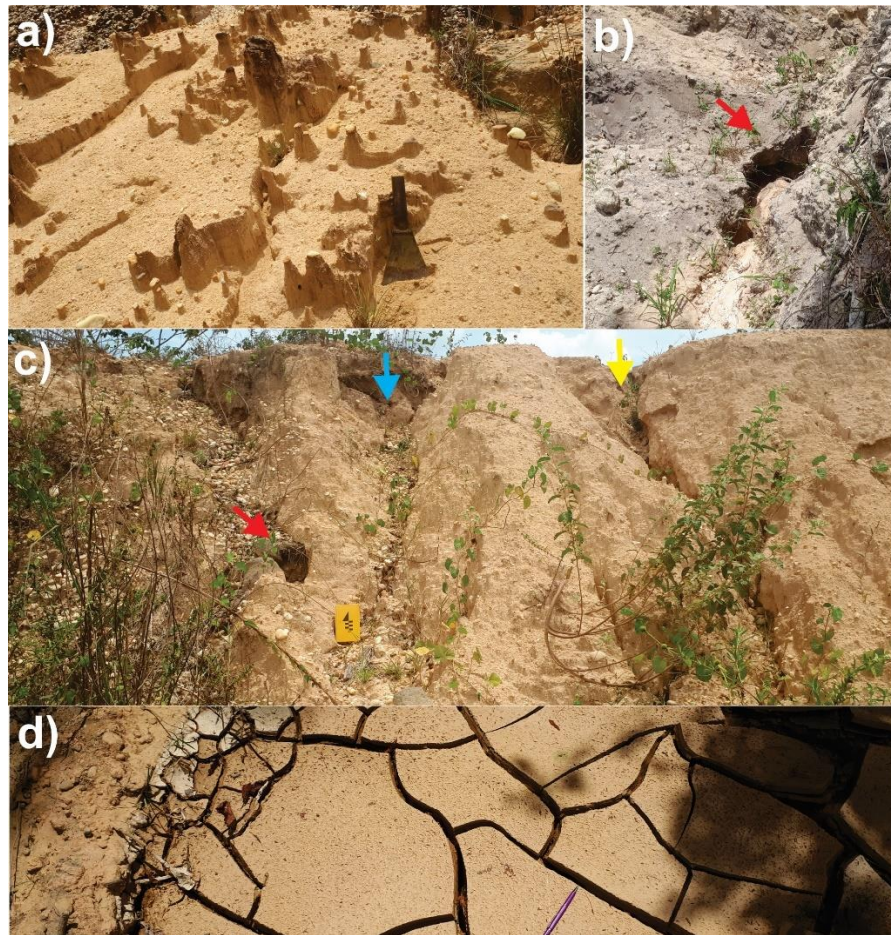


Figura 42- Feições erosivas secundárias observadas nas voçorocas da região do baixo curso da bacia do Igarapé João Alves: a) Pedestais (voçoroca “I”); b) Duto indicado por seta vermelha (voçoroca “J”); c) Duto indicado por seta vermelha, ravina indicada por seta azul, sulco indicado por seta amarela (voçoroca “I”). Estrutura sedimentar de greta de contração observada no piso da voçoroca “J” (d). Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.7. Interpretação dos dados de campo

A identificação de feições erosivas é de suma importância, visto que a partir delas é possível entender os processos erosivos que atuam na formação da voçoroca e o grau de impacto da erosão na área de estudo (Marques & Souza 2017). Entre os processos erosivos identificados, está a ação do escoamento superficial na formação sulcos e ravinas, redesenhando as bordas da voçoroca e deixando suas marcas nas paredes da mesma.

Destaca-se que a maior parte das feições erosivas se concentra na região da cabeceira da voçoroca, sendo esta a parte que mais recebe fluxo de material consequente do escoamento superficial, o que propicia os movimentos de massas e transporte de sedimentos.

Além disso, modificação do relevo original é um dos principais motivos da ocorrência das voçorocas, visto que a maior parte delas são oriundas de aberturas de cavas e elevação da topografia por acúmulo de rejeito. Conseqüentemente, com o aumento da declividade nessas áreas específicas, o escoamento superficial também é elevado, contribuindo com a evolução da

voçoroca, assim como descrito por Sousa (2010).

O perfil de alteração contribui consideravelmente na evolução das voçorocas, onde o material arenoso é erodido com maior facilidade, devido a sua porosidade ser mais elevada quando comparada ao material argiloso (Sousa 2010). Contudo, o escoamento superficial torna-se mais elevado junto ao material argiloso observado na área. O contato entre esses dois materiais normalmente formam feições secundárias como costelas e alcovas de regressão (Vieira 2008). A escassez de cobertura vegetal intensifica ainda os processos erosivos, visto que sem a proteção vegetal, as partículas do solo desagregam com mais facilidade (Valle Junior 2008).

## 6. CONCLUSÕES

A BHMARG é majoritariamente composta por unidades litológicas pertencentes à Formação Barreiras (conglomerados e arenitos) e pelos sedimentos Pós-Barreiras (argila, silte e areia fina). Os depósitos da Formação Barreiras encontram-se pouco ou intensamente intemperizados, com coloração variando entre vermelho, amarelo e branco. As litologias de cor vermelha a amarela são compactas e resistentes, enquanto que as esbranquiçadas são bastante friáveis e pulverulentas.

Foram individualizadas 8 unidades geomorfológicas, associadas a Plataforma do Pará e Bragantina e ao Cinturão Gurupi, que indicaram um sistema em equilíbrio e segmentado em compartimentos marcados por 2 grupos de modelados: dissecação por escoamento pluvial (unidades I, III, IV, VI, VII e VIII); e dissecação por drenagem fluvial (unidades II e V).

De acordo com os dados pluviométricos, foi possível observar que a bacia hidrográfica do rio Guamá apresenta período com maiores índices de chuva entre os meses de fevereiro a abril (cerca de 350mm de precipitação média mensal) e menores índices nos meses de julho a novembro (cerca de 62,6 mm de precipitação média mensal), tornando-se uma região mais propícia ao escoamento do que a infiltração, em decorrência do alto índice pluviométrico. Além disso, a região da BHMARG possui rede hidrográfica de 6ª ordem e de orientação principal E-W e N-S.

Os solos da região são compostos por gleissolo háplico distrófico, latossolo amarelo distrófico e argissolo vermelho-amarelo distrófico. Os latossolos são dominantes em toda a região por serem desenvolvidos principalmente de sedimentos do Grupo Barreiras. Os gleissolos estão localizados nas margens e arredores do rio Guamá, por serem característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos. Os argissolos ocorrem junto aos terrenos pertencentes ao Cinturão Gurupi.

Das classes de uso e cobertura da terra mapeadas na bacia a classe “pastagem” é a mais

expressiva, que se somada com as classes “área agrícola” e “exploração mineral”, ocupa cerca de 54,87% da área. Essas classes carecem de acompanhamento, já que implicam na supressão da vegetação nativa e acarretam em uma maior instabilidade da área desmatada. As classes que representam a vegetação são formadas por “área florestal”, “vegetação secundária” e “reflorestamento”, que ocupam juntas 42,22% da área. Estas incluem as formações pioneiras herbáceas e arbustivas, de influência fluvial, assim como a floresta ombrófila densa. As demais classes observadas na BHMRG foram: solo exposto, açude/lago, rio , cidade, vila, complexo industrial e propriedade rural.

Também foram mapeadas 10 voçorocas no médio curso da bacia do rio Guamá, inseridas nas sub-bacias: Igarapé Açú, Igarapé Curuçá, Igarapé Grande e Igarapé João Alves. As voçorocas foram classificadas quanto ao tipo - 9 voçorocas desconectadas e uma do tipo conectada; quanto a forma - 4 voçorocas ramificadas, 5 irregulares e uma linear; e quanto ao volume – 6 voçorocas pequenas, uma muito pequena, uma média, uma grande e uma muito grande. A evolução dos processos erosivos das voçorocas das áreas de mineração da BHMRG indicou que estas são favorecidas pelos fatores controladores: erosividade pela ação das águas das chuvas; a erodibilidade ocasionada pela desestruturação da cobertura de solos, associada as encostas desprotegidas de cobertura vegetal; além dos efeitos do antropismo na modificação da morfologia original do relevo. O resultado é a alteração da paisagem natural ligada principalmente ao desmatamento e a extração mineral.

## REFERÊNCIAS

- Abdo M.T.V.N., Vieira S.R., Martins A.L.M., Silveira L.C.P. 2008. Estabilização de uma voçoroca no Pólo APTA Centro Norte - Pindorama, SP. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, **1**(2):135-141.
- Araújo I. B. 2016. *Carta de susceptibilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Médio Baixo Tapajós – oeste do estado do Pará*. TCC, Graduação, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 175p.
- Araújo P.P. 2011. *Avaliação dos compostos nitrogenados no aquífero livre em agroecossistemas de citros no alto do rio Capitão Pocinho, Amazônia oriental*. PhD Thesis, Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental. 175p.
- Beavis S.G. 2000. Structural controls on the orientation of erosion gullies in mid-western New South Wales, *Australia. Geomorphology*, **33**:59-72.
- Bertoni J. & Lombard Neto F.L. 2005. *Conservação do solo*. 5 ed. São Paulo, Ed. Ícone, 355p.
- Boroghani M., Hayavi F., Noor H. 2012. Affectability of splash erosion by polyacrylamide application and rainfall intensity. *Soil & Water Res.*, **7**(4):159-165.
- Carvalho J. C., Sales M. M., Mortari D., Fazio J. A., Motta, N. O., Apolinario, R. F. 2006. Processos erosivos. In: Carvalho J. C., Sales M. M., Souza N. M., Melo M. T. S. *Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. Brasília, DF, Universidade de Brasília, FINATEC, p. 39-91.
- Cordeiro I.M.C.C., Arbage M.J.C., Schwartz G. 2017. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários. In: Cordeiro I.M.C.C., Rangel-Vasconcelos L.G.T., Schwartz G., Oliveira F.A. (org.). *Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. Belém, PA, EDUFRA. p. 19-58.
- Costa J.L. (org.). 2000. *Castanhal, Folha SA.23-V-C. Estado do Pará. Escala 1:250.000*. Brasília, DF, CPRM. 93 p. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).
- Costa M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, **21**(2):146-160.
- CPRM. 2017. *Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Açailândia - Maranhão*. Brasília, DF, Serviço Geológico do Brasil, 38 p.
- Filizola H. F., Almeida Filho G. S., Canil K, Souza M. D., Gomes M. A. F. 2011. *Controle dos Processos Erosivos Lineares (ravinas e voçorocas) em Áreas de Solos Arenosos*. Circular Técnica 22, 1ª ed (eletrônica), São Paulo, EMBRAPA, 7p.
- Guerra A.J.T. 2007. *O início do processo erosivo*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil 3ed., 340p.
- IBGE. 2009. *Manual técnico de geomorfologia*. Rio de Janeiro, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 182 p.
- IBGE. 2015. *Manual técnico de pedologia*. Manuais técnicos de Geociências, n.4, Rio de Janeiro. 430p.

IBGE. 2013. *Manual Técnico de Uso da Terra*. 3. ed., Rio de Janeiro. 250p.

Jain, V.; Tandon, S. K.; Sinha, R. 2012. Application of modern geomorphic concepts for understanding the spatiotemporal complexity of the large Ganga river dispersal system. *Current Science*, **103**(11):1300-1319.

Leite A.L., Freitas I.G., Oliveira E.B. 2017. Atividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense. *In: 1º Congresso Nacional de Geografia Física, Campinas - SP*. p. 7282 - 7286.

Machado R.L., Resende A.S., Campello E.F.C. 2006. Recuperação de voçorocas em áreas rurais. *Embrapa Agrobiologia*. (Sistemas de Produção 3).

Mafra N.M.C. 1999. Erosão e planificação de uso do solo. *In: Guerra A. J. T., Silva A. S., Botelho R. G. M. (org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. p. 301-322.

Magalhães R.A. 2001. Erosão: definições, tipos e formas de controle. *In: 7º Simpósio Nacional de Controle de Erosão*. Goiânia, GO, 11p.

Marques R.O., Souza R.L.F. 2017. *A degradação do solo por meio da erosão: principais agentes condicionantes e impactos socioambientais causados por voçorocas no Lago do Zé Açú, Parintins-AM*. Monografia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM. 23 p.

Matos A. 2007. *Oureana de além-mar, Ourém, terra de moura: organização e introdução de elementos novos da história de Ourém-PA*. Ourém.

Mendes C. A. R. 2006. *Erosão superficial em encosta íngreme sob cultivo perene e com pousio no município de Bom Jardim - RJ*. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 237p.

Miranda, A. C. S. 2019. *Erosões urbanas para percepção de risco: o caso das voçorocas na cidade de Açailândia-MA*. MS Dissertation, Curso de Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 78 p.

Muratori A.M. 1983. *Erosão no nordeste da proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas Curitiba*, PR. 135p.

Nascimento T.V. & Fernandes L.L. 2017. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. *Ciência e Natura*, Santa Maria **39**(1):170 – 178.

Oliveira M.A.T. 1989. Erosion disconformities and gully morphology: a three dimensional approach. *Catena*, **16**:413- 423.

Pacheco N.A. & Bastos T.X. 2001. *Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA*. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, 17 p.

Palheta E.S.M. 2001. *Evolução geológica da região nordeste do Estado do Pará com base em estudos estruturais e isotópicos de granitóides*. MS Dissertation, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 143 p.

Passarella S. M., Machado F.B., Riedel P.S., Lopes E.S.S., Ferreira M.V., Moreira M.R., Azzi A.A. 2008. Análise da relação entre escorregamento e formas de vertentes no município de Cubatão (SP) e seus arredores. *Geociências*, 27(1):7-20.

Pereira W.D. & Ribas L.C. 2014. Voçorocas: métodos e resultados das políticas públicas ambientais implementadas pelo município de Franca visando conter seus avanços e a degradação do espaço urbano. *In: 1º Seminário Internacional de Pesquisa em Políticas Públicas e Desenvolvimento Social, Resumo...* Franca, p.1-14.

Prochnow M.C.R. 1990. *Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídio ao planejamento e manejo*. PhD Thesis, Instituto de Geociências e ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP, 330p.

Renwick, W. H. 1992. Equilibrium, disequilibrium and nonequilibrium landforms in the landscape. *Geomorphology*, (5): 265-276.

Ross J.L.S. 2006. *Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo, Editora Oficina de Textos.

Sampaio S.M.N., Venturieri A., Campos A.G.S., Elleres F.A.P. 2017. Dinâmica da cobertura vegetal e do uso da terra na mesorregião nordeste paraense. *In: Cordeiro I.M. C.C., Rangel-Vasconcelos L.G.T., Schwartz G., Oliveira F.A. (org.). Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias*. Belém, PA, EDUFRA. p. 131-159.

Santana A.D. 2016. As erosões antrópicas e suas implicações socioambientais: o caso de uma voçoroca localizada em uma propriedade rural, no noroeste do município de Regente Feijó/SP. *In: XI Encontro Nacional da Associação de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. A diversidade da Geografia Brasileira: escalas e dimensões da análise e da ação*. Presidente Prudente. *Anais...* p. 6435-6446.

Santoro, J. 2012. Erosão continental. *In: Tominaga L. K., Santoro J., Amaral R. (org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir*. 2.ed. São Paulo, Instituto Geológico, 196p.

Santos C.A. 2016. *Cartas de distribuição da precipitação pluviométrica da Região Costa Atlântica Nordeste do Estado do Pará*. Belém, PA, UFPA, Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA). (Base de informações geográficas).

Santos H.G., Jacomine P.K.T., Anjos L.H.C., Oliveira V.A., Lumbreras J.F., Coelho M.R., Almeida J.A., Araujo Filho J.C., Oliveira J.B., Cunha T.J.F. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 412p.

Schwarz R.A. 1997. *Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das missões – RS*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 130p.

Sena J.N. 2008. *O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão*. MS Dissertation, UNPESP, Ilha Solteira, SP, 114p.

Silva J. P. S. 2007. Impactos ambientais causados por mineração. *Revista Espaço da Sophia*, ed. 8. Brasília, DF, UnB.

- Silva T.P., Salgado C.M., Gontijo A.H.F., Moura J.R.S. 2003. A influência de aspectos geológicos na erosão linear - médio-baixo vale do Ribeirão do Secretário, Paty do Alferes (RJ). *Geosul*, Florianópolis, **18**(36):131-150.
- Silveira L.R. & Mendonça R.M.G. 2009. Análise, monitoramento e caracterização da voçoroca Ribeirão da Cachorra em Paraíso do Tocantins - TO. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, **6**(2):231-250.
- Sousa A.T. 2010. *Caracterização de voçorocas em bordas de relevo residual tabular em Quirinópolis-GO* [manuscrito]. 162p.
- Souza, M.P. 2004. *Os impactos ambientais no meio físico: erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária*. MS Dissertation, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 322p.
- Souza A.S., Geovane J., Furtado L.L. 2012. Análise dos Impactos Ambientais Provenientes da Mineração de Seixo em Ourém (PA). In: 3º Congresso de Mineração da Amazônia, 2012, Belém (PA). *Exposição Internacional de Mineração da Amazônia*. 15p.
- Souza J.T.M., Pena H.W.A., Silva B.E.B. 2016. Análise espacial das atividades de mineração: expansão das áreas de cavas de seixo e areia no município de Ourém, PA. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, **1**:1-32.
- Strahler, A. 1952. N. Dynamics basis of geomorphology. *Geophysical Society of American Bulletin*, **63**(9):32-35.
- Valle Junior R.F. 2008. *Diagnostico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba*. PhD Thesis, Faculdades de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 222p.
- Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. 2008. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará*, Belém: CPRM.
- Vasquez M.L., Sousa C.S., Carvalho J.M.A. 2008. *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000*. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. CPRM, Superintendência Regional de Belém, PA. 328p.
- Vieira A.F.G. 2008. *Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): fatores controladores e impactos urbano-ambientais*. PhD Thesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 223p.
- Vieira A.F.G. & Albuquerque A.R.C. 2004. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). In: 5º Simpósio Nacional de Geomorfologia & 1º Encontro SulAmericano de Geomorfologia. *Anais...* Santa Maria, UGB/UFSM. p. 50-65.
- Viero A.C. 2004. *Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: bacia do Taboão, RS*. MS Dissertation, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Villas R.N. & Sousa F.D.S. 2007. O granito de duas micas Ney Peixoto, nordeste do Pará: aspectos petrológicos e significado tectônico. *Revista Brasileira de Geociências*, Belém, **37**(1):3-16.

Volk L.B.S., Cogo N.P., Streck E.V. 2004. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *R. Bras. Ci. Solo*, **28**:763- 774.