



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS E LETRAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**  
**CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA**

---

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO A  
VOÇOROCAMENTO E CARACTERIZAÇÃO  
GEOAMBIENTAL DA RODOVIA AM-010  
MANAUS/ITACOATIARA - AM**

**ANNE CAROLINA MARINHO DIRANE**

**Manaus – Amazonas**

**2016**

**ANNE CAROLINA MARINHO DIRANE**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO A  
VOÇOROCAMENTO E CARACTERIZAÇÃO  
GEOAMBIENTAL DA RODOVIA AM-010  
MANAUS/ITACOATIARA - AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, nível de Mestrado, como requisito para a obtenção do título de Mestre. Área de concentração Amazônia: Território e Ambiente.

**Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira**

**Orientador**

**Manaus - Amazonas**

**2016**

**ANNE CAROLINA MARINHO DIRANE**

**MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO A  
VOÇOROCAMENTO E CARACTERIZAÇÃO  
GEOAMBIENTAL DA RODOVIA AM-010  
MANAUS/ITACOATIARA - AM**

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. ANTONIO FÁBIO SABBÁ GUIMARAES VIEIRA- UFAM**

**Prof. Dra. ADORÉA REBELO DA CUNHA ALBUQUERQUE - UFAM**

**Prof. Dra. NELIANE DE SOUSA ALVES - UEA**

Aprovado em 22 de fevereiro de 2016.

**Manaus - Amazonas**

**2016**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade concedida e disposição para enfrentar o desafio.

Ao meu querido e amoroso pai Jânio Dirane, que foi um incentivador e sempre me motivou a seguir em frente com a jornada acadêmica.

A minha querida mãe Vânia Marinho, por sempre acreditar em mim e me incentivar a nunca desistir.

Aos meus irmãos pelo apoio e incentivo, especialmente a Tati Dirane, que sempre esteve comigo.

À minha querida avó Josefa, por me motivar sempre.

Ao meu querido orientador, professor Fábio Vieira, por sempre se mostrar disposto, paciente e servir de exemplo, como profissional e principalmente como pessoa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, em especial a Prof. Dra. Amélia Regina Batista e ao Prof. Dr. José Aldemir de Oliveira.

A Secretaria do Programa de Pós-Graduação em geografia, em especial a Dona Graça Luzeiro, por toda paciência e cordialidade.

Aos meus amigos e colegas do mestrado, por estarem comigo sempre, nas horas de estudo e de descontração, em especial a Juliana Silva, Sandra Pereira, Edeilton Pereira, Vinicius Moura, André Rodrigues e Thaline Fontes, vocês são demais.

Aos professores e amigos Deivison Molinari e Neliane Alves, pela ajuda e incentivo, e por terem me colocado no caminho da pesquisa.

Aos amigos que encontrei nessa caminhada, Miriliane Judite, Fernanda Mara, Maria Clenilda, Nadia Rafaela e Emerson, que me ajudaram nos trabalhos de campo e laboratório, que permanecem sempre comigo e que sou eternamente grata.

Ao amigo e fiel companheiro Armando Brito da Frota Filho, por sempre estar comigo e me motivar (daquele jeito que só ele sabe fazer, sem nenhuma delicadeza) e principalmente por me colocar sempre na linha.

Ao amigo Weliton Silva, por me ajudar sempre que necessário nas análises de solo.

As minhas amigas de trabalho que sempre acreditaram e apoiaram meu trabalho, Biana Lira, Carina Leal e ao grande amigo Carlos Velas.

A minha querida amiga Raquel Dias, pela dedicação e parceria ao longo dessa jornada.

A todos os professores que tive oportunidade de conviver e que me permitiram ampliar os conhecimentos.

A todos que acreditam e me ajudaram de alguma forma na execução do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

*A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita.*

*(Mahatma Gandhi)*

*Dedico este trabalho a meu  
querido pai Jânio Pereira  
Dirane, que sempre foi e  
sempre será minha fonte de  
inspiração.*

*(In memorian)*

## RESUMO

A compreensão do processo erosivo é fundamental para a prevenção e conservação do solo, nesse sentido o presente trabalho tem como objetivo principal o mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca e caracterização geoambiental na rodovia AM-010, que liga Manaus aos municípios de Rio Preto da Eva e Itacoatiara. Tendo como objetivos específicos foram o mapeamento e quantificação das voçorocas ao longo da rodovia AM-010; identificação da morfologia e morfometria (largura, comprimento e profundidade) das voçorocas e feições erosivas, evolução e taxa de crescimento, destacando as características das vertentes; identificação da capacidade de infiltração e resistência do solo à penetração; descrição dos aspectos geoambientais ao longo da rodovia. Os procedimentos metodológicos foram divididos em: revisão bibliográfica, pesquisa de campo e análise dos dados. Para caracterização das vertentes, foram observadas: forma, declividade e orientação. As técnicas consistiram em observações diretas em campo, anotações em ficha cadastral, utilização de bussola, trena e croqui. Foram utilizados parâmetros para mensurar o tamanho e a escala de risco. O infiltrômetro foi utilizado para medir a taxa de infiltração e o penetrômetro de impacto para medir a resistência do solo a penetração. Os resultados mostram o mapeamento de 15 voçorocas ao longo da rodovia AM-010, mostrando que a voçoroca localizada no km 135 é a que possui o maior comprimento (227,5 m), a voçoroca com maior largura situa-se no km 104 (24 m) e a com maior profundidade (9 m) no km 125. A incisão que apresentou a maior taxa de infiltração foi a voçoroca do km 137 (15) e a com menor taxa a voçoroca 5 (km 116), quanto a resistência do solo a penetração a incisão que apresentou a superfície mais compactada foi a incisão 5 (km 116), que associada ao teste de infiltração denunciam uma superfície bastante compactada, favorecendo o escoamento superficial concentrado. A ocorrência das incisões está ligadas às obras de infraestrutura ao longo da rodovia (pavimentação e drenagem pluvial), bem como a geomorfologia, os trechos em que há concentração de voçorocas são os trechos da estrada que não obedecem a geomorfologia do local.

**Palavras-chave:** rodovia AM-010 – voçoroca - geoambiente

## ABSTRACT

The erosion process comprehension is essential to prevent and conservation of the soil, in this matter the present study has main objective of mapping the Gully-type erosion incisions and the geo-environmental characterization of the Road- AM-010, which connect Manus to the municipalities of Rio Preto da Eva and Itacoatiara. Having the following specific objectives: Map and quantify of the gullies during the course of the road AM-010; identify the morphology and morphometry (width, length and depth) of the gullies and erosion features, evolution and growth rate, emphasizing the slope characteristics; identify the capacity of infiltrations and the soil resistance to penetration; describe the geo environmental aspects through the road. The methodological procedures were divided in: bibliography review, fieldwork and data analyze. To characterize the slopes, were observed shape, gradient and orientation. The techniques consisted in observations *in loco*, notes at cadastral file, use of compass, measuring tape and sketching. It was use parameters to estimate the size and risk scale. The infiltrometer was used to measure the infiltration rate and penetrometer the measure the soil resistance to penetration. The results show the mapping of 15 gullies though the road AM-010, showing that the gully located at the km 135 has the greatest length (227,5 m), the greatest width is located at the km 104 (24 m) and greatest depth (9 m) at the km 125. The incision that showed the highest infiltration rate is located at the km 137 (15) and the lowest rate was gullies n°5 (km 116), regarding the soil resistance the incision that showed the most compacted surface was the incision n°5 (km 116), when associated to results of the infiltration test indicate a compacted surface, allowing the runoff. The occurrence of the incisions is connected to the infrastructure construction (paving and pluvial drainage), as well to the geomorphology. The sections that have concentration of gullies as sections that do not obey the local geomorphology.

**Keywords:** Road AM-010 – Gullies – Geoenvironmental

# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1. INÍCIO DO PROCESSO EROSIVO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Infiltração e escoamento superficial .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 Fatores controladores de erosão.....</b>	<b>22</b>
1.2.1 Erosividade .....	23
1.2.2 Erodibilidade.....	23
1.2.3 Cobertura Vegetal.....	24
1.2.4 Características Das Encostas .....	24
1.2.5 Ação Antrópica.....	25
<b>1.3 Sulcos, Ravinas e Voçorocas.....</b>	<b>25</b>
<b>2 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA RODOVIA AM-010.....</b>	<b>34</b>
<b>2.1 Área de Estudo.....</b>	<b>34</b>
2.1.1 Manaus.....	34
2.1.2 Rio Preto da Eva .....	36
2.1.3 Itacoatiara .....	37
<b>2.2 Geologia .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3 Geomorfologia.....</b>	<b>40</b>
<b>2.4 Clima.....</b>	<b>42</b>
<b>2.5 Vegetação.....</b>	<b>43</b>
2.5.1 Floresta Ombrofila Densa.....	43
2.5.2 Floresta equatorial higrófila de várzea.....	44
2.5.3 Floresta equatorial hidrófila de várzea.....	44
<b>2.6 Solos .....</b>	<b>44</b>
2.6.1 Latossolo Amarelo.....	46
<b>2.7 Hidrografia.....</b>	<b>48</b>
<b>3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 Mapeamento e Morfometria.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Resistência a penetração .....</b>	<b>55</b>

<b>3.3</b>	<b>Capacidade de Infiltração do solo.....</b>	<b>56</b>
<b>3.4</b>	<b>Características do solo .....</b>	<b>57</b>
3.4.1	Granulometria .....	58
3.4.2	Caracterização Geoambiental .....	59
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Mapeamento das incisões erosivas .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>Perfil das voçorocas localizadas na AM-010 .....</b>	<b>66</b>
<b>4.3</b>	<b>Previsão de Risco .....</b>	<b>78</b>
<b>4.4</b>	<b>Capacidade de infiltração de água .....</b>	<b>79</b>
<b>4.5</b>	<b>Resistência a penetração .....</b>	<b>84</b>
<b>4.6</b>	<b>Classificação textural do solo.....</b>	<b>86</b>
<b>4.7</b>	<b>pH do Solo .....</b>	<b>90</b>
<b>4.8</b>	<b>Características Geoambientais da rodovia AM-010.....</b>	<b>91</b>
4.8.1	Solos .....	91
4.8.2	Geologia e geomorfologia .....	92
4.8.3	Vegetação .....	95
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>99</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Superfície encrostada, próximo à borda da voçoroca na AM-010, km 104.....	20
Figura 2: Sulcos em incisão erosiva na AM-010, km 145. ....	26
Figura 3: Voçoroca na rodovia AM-010, km 46.....	27
Figura 4: Forma das características das voçorocas. ....	29
Figura 5: Modelo de evolução das voçorocas. ....	30
Figura 6: Formação de pedestais na voçoroca na AM-010, km 135.....	31
Figura 7: Filetes verticais presentes na voçoroca na AM-010, km45. ....	32
Figura 8: Alcovas de regressão presente na voçoroca.....	32
Figura 9: Localização da rodovia AM-010. ....	35
Figura 10: Geologia da rodovia AM-010.....	39
Figura 11: Geomorfológico da rodovia AM-010. ....	41
Figura 12: Vegetação da rodovia AM-010.....	45
Figura 13: Mapa de solos da rodovia AM-010.....	47
Figura 14: Mapa hidrográfico da rodovia AM-010.....	49
Figura 15: Fluxograma das etapas do trabalho.....	51
Figura 16: Modelo de ficha cadastral de voçorocas. ....	52
Figura 17: Coleta de dados morfométricos da voçoroca 6, km 125.....	53
Figura 18: Diversos tipos de feições de uma vertente.....	54
Figura 19: Realização do teste do penetrômetro no km 116, na rodovia AM-010.....	55
Figura 20: Infiltrômetro utilizado nos testes para absorção de água no solo. ....	57
Figura 21: Pirâmide Textural .....	58
Figura 22: Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca na rodovia AM-010.....	61
Figura 23: Canaletas ao longo da rodovia Am-010.....	63
Figura 24: Voçoroca 1, localizada no km 46 da rodovia AM-010.....	66
Figura 25: Voçoroca 2, localizada no km 46 da rodovia AM-010.....	67
Figura 26: Voçoroca 3, localizada no km 104 da rodovia AM-010.....	67
Figura 27: Voçoroca 4, localizada no km 104 da rodovia AM-010.....	68
Figura 28: Voçoroca 5, localizada no km 116 da rodovia AM-010.....	68
Figura 29: Voçoroca 6, localizada no km 125 da rodovia AM-010.....	69
Figura 30: Voçoroca 7, localizada no km 135 da rodovia AM-010.....	69
Figura 31: Voçoroca 8, localizada no km 135,5 da rodovia AM-010.....	70

Figura 32: Voçoroca 9, localizada no km 136 da rodovia AM-010.....	70
Figura 33: Voçoroca 10, localizada no km 136 da rodovia AM-010.....	71
Figura 34: Voçoroca 11, localizada no km 136 da rodovia AM-010.....	71
Figura 35: Voçoroca 12, localizada no km 136 da rodovia AM-010.....	72
Figura 36: Voçoroca 13, localizada no km 136 da rodovia AM-010.....	72
Figura 37: Voçoroca 14, localizada no km 137 da rodovia AM-010.....	73
Figura 38: Voçoroca 15, localizada no km 137 da rodovia AM-010.....	73
Figura 39: Orientação das vertentes da rodovia AM-010. ....	77
Figura 40: Coleta de amostras de solo, voçoroca 1 e 2, AM-010. ....	86
Figura 41: Phmetro na superfície de uma voçoroca. ....	90
Figura 42: Latossolo Amarelo bastante alterado pela terraplanagem, rodovia Am-010. ....	92
Figura 43: Elevação do terreno na rodovia AM-010.....	93
Figura 44: Localização das voçorocas do km 46 e 104 na encosta, na rodovia Am-010.....	94
Figura 45: Localização das voçorocas do km 116 e 125 na encosta, na rodovia Am-010.....	94
Figura 46: Localização das voçorocas do km 135 ao 137 na encosta, na rodovia Am-010.....	95
Figura 47: Declividade do terreno na rodovia AM-010. ....	96
Figura 48: Floresta Ombrofila densa, ao longo da rodovia Am-010.....	97
Figura 49: Igarapés ao longo da rodovia AM-010. ....	97
Figura 50: Canais hidrograficos ao longo da rodovia AM-010.....	98

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comprimento das voçorocas localizadas na rodovia AM-010. ....	65
Gráfico 2: Largura das voçorocas localizadas na rodovia AM-010. ....	65
Gráfico 3: Profundidade das voçorocas localizadas na rodovia AM-010. ....	66
Gráfico 4: Forma das voçorocas localizadas na rodovia AM-010. ....	74
Gráfico 5: Tipo das voçorocas localizadas na rodovia AM-010. ....	75
Gráfico 6: Volume erodido das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.....	75
Gráfico 7: Taxa de infiltração realizada na voçoroca 1 e 2.....	79
Gráfico 8: Taxa de infiltração realizada na voçoroca 3 e 4.....	80
Gráfico 9: Teste de infiltração realizado na voçoroca 5 e 6.....	81
Gráfico 10: Teste de infiltração realizado na voçoroca 7.....	82
Gráfico 11: Teste de infiltração realizado na voçoroca 8.....	82
Gráfico 12: Teste de infiltração realizado na voçoroca 9 a 13.....	83
Gráfico 13: Teste de infiltração realizado na voçoroca 14.....	84
Gráfico 14: Resistencia do solo a penetração.....	85
Gráfico 15: Textura da voçoroca 3 e 4.....	87
Gráfico 16: Textura da voçoroca 4.....	87
Gráfico 17: Textura da voçoroca 6.....	88
Gráfico 18: Textura da voçoroca 7.....	88
Gráfico 19: Textura da voçoroca 8.....	89
Gráfico 20: Textura da voçoroca 14.....	89

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1: Conceitos de voçorocas.....	28
Quadro 2: Classificação das voçorocas por tamanho (m <sup>3</sup> ).....	30
Quadro 3: Escala de risco erosivo. ....	53
Quadro 4: Classificação das voçorocas por tamanho. ....	54
Quadro 5: Localização e parâmetros de identificação das voçorocas mapeadas ao longo da rodovia AM-010.....	60
Quadro 6: Dados morfométricos das vocorocas cadastradas. ....	62
Quadro 7: Dados do 1º monitoramento das voçorocas da AM-010.....	63
Quadro 8: Dados do 2º monitoramento das voçorocas da rodovia AM-010. ....	64
Quadro 9: Dados de área e volume erodido no monitoramento das voçorocas localizadas na AM-010. ....	76
Quadro 10: Distância da pista, taxa de crescimento e previsão de risco das voçorocas localizadas na rodovia AM-010. ....	78
Quadro 11: Número de batidas na superfície das voçorocas.....	84
Quadro 12: Ph do solo no entorno das voçorocas da AM-010.....	90

## **LISTA DE SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

RADAM – Radar na Amazônia

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

## INTRODUÇÃO

A erosão dos solos embora seja um fenômeno natural muito estudado, ainda é pouco compreendida, principalmente no que se refere a sua previsão, tanto no espaço quanto no tempo. Tal dificuldade resulta, dentre outras razões, das complexas interações entre os diversos fatores condicionantes, os vários mecanismos de ruptura dos solos, as características de transporte, além da intervenção humana, cada vez mais freqüente. Sabe-se também que as diferentes feições erosivas observadas na natureza encontram-se associadas a processos bem específicos, fato este que dificulta ainda mais o desenvolvimento de estudos (FERNANDES et al., 2004).

Em termos geomorfológicos, pode-se dizer que a erosão é o processo que envolve o destacamento e o transporte de solos e fragmentos de rochas, tanto no domínio das encostas como no sistema fluvial. A erosão ocorre sempre que a força de cisalhamento excede a força de resistência, resultante de propriedades mecânicas intrínsecas aos materiais (GUERRA, 2004).

A ação da sociedade modifica a paisagem de diversas maneiras, seja pela remoção da cobertura vegetal, concentração de águas pluviais, cortes de encostas, entre outros. Tais intervenções podem ocasionar o surgimento de incisões erosivas, das mais simples, às mais agressivas, como as voçorocas, provocando danos ambientais e socioeconômicos.

Os processos erosivos são extremamente prejudiciais aos ecossistemas terrestres e aquáticos, causam perda de solo, assoreamento dos cursos d'água, poluição e degradação da qualidade da água. Impactam diretamente o curso d'água prejudicando os usos múltiplos do recurso hídricos.

Diante do que foi mencionado, a pesquisa está atrelada a entender a dinâmica dos processos erosivos, quanto ao tipo de voçorocas que incidem na rodovia AM-010, se o surgimento das incisões ocorrem pelo asfaltamento da rodovia, das canaletas para escoamento de água, da supressão da vegetação ou da própria geomorfologia da encosta. O presente estudo tem como objetivos mapear as áreas de risco a voçorocamento e fazer a caracterização geoambiental da rodovia AM-010.

A pesquisa selecionou a rodovia AM 010, pois esta já fazia parte de um projeto maior do Cnpq, intitulado Impactos ambientais decorrentes de voçorocas em rodovias

no Amazonas ( 2011 a 2013), que estudou também outras rodovias no estado do Amazonas, com o enfoque no surgimento e aceleração do processo erosivo em rodovias.

- Nesse sentido, os objetivos específicos foram o mapeamento e quantificação das voçorocas ao longo da rodovia AM-010; identificação da morfologia e morfometria das voçorocas e feições erosivas, destacando as características das vertentes; identificação da capacidade de infiltração e compactação do solo; descrição dos aspectos geoambientais ao longo da rodovia e a consequente análise dos fatores desencadeadores do surgimento dessas incisões.

Ao final, foi possível propor usos e medidas de controle que visem à reabilitação ambiental e que considere a restauração da funcionalidade dos geoecossistemas.

A escolha do rodovia AM 010 se deu pelo fato de ser uma das rodovias estaduais de maior uso e influencia, pois liga diretamente a Capital do Estado do Amazonas aos municípios de Rio Preto da Eva, Itacoatiara, Itapiranga e Silves. A rodovia como referencial de análise se dá pela modificação que a mesma ocasiona na paisagem, gerando danos ao ambiente e acelerando processos de ordem natural alterando a configuração da paisagem natural.

A proposta de análise da rodovia possibilitou responder aos questionamentos e indagações a respeito do surgimento das voçorocas em rodovias, se há um padrão ou se estas sofrem influencias?, e quais são essas influencias?.

## 1. INÍCIO DO PROCESSO EROSIVO

A erosão é um processo natural e que há muito tempo vem sendo estudada, porém, ainda não se chegou à sua total compreensão. O intemperismo, o ciclo hidrológico, a acumulação de matéria orgânica e as ações humanas controlam a formação e degradação do solo, desta forma o solo reflete os processos naturais e os impactos humanos (RENSCHLER, 2002).

O início do processo ocorre quando as partículas do solo são desprendidas e transportadas pelo fluxo de água e depositadas em outra parte do terreno (GUERRA, 2006). O processo erosivo, causado pela água das chuvas, tem abrangência em quase toda superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, cujos totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas dessas áreas as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão (GUERRA, 2007).

Os processos erosivos que atuam no solo agem de duas formas, a primeira é quando as gotas de chuva atingem a superfície e seu impacto destaca partículas de solo, a segunda ocorre quando o fluxo de água que atinge o solo na superfície e que pode ser concentrado ou difuso, desagrega as partículas para facilitar o transporte e em menor destaque, o fluxo subsuperficial através de dutos e macroporos. A erosão efetua-se através de vários mecanismos, dentre os quais se destacam: deslocamento de partículas pelo impacto das gotas de chuva; transporte de partículas de solo por escoamento superficial.

Durante as chuvas, grande parte da água atinge diretamente o solo, principalmente os desprovidos de cobertura vegetal. Os efeitos das gotas de chuva variam de acordo com diferentes fatores, como a intensidade que dependendo da energia cinética das gotas pode atuar com maior ou menor facilidade na ruptura dos agregados.

O impacto causado pela gota de chuva na superfície do terreno dá início a erosão por salpicamento (*splash*), que é um processo muito eficaz no destacamento e transporte de sedimentos, pois com a força das gotas de água, as partículas se soltam e são transportadas em todas as direções. Segundo Guerra:

... o efeito “splash” é o estágio inicial do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõe o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial. Esta preparação se dá tanto pela ruptura dos agregados, quebrando-os em tamanhos menores, como pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca nas partículas do solo. Além disso, os agregados vão preenchendo os poros da superfície do solo, provocando a selagem do solo, e uma conseqüente queda na capacidade de infiltração de água no solo e o aumento do escoamento superficial (1999: p. 89).

A ruptura dos agregados depende muito da colisão das gotas sobre a superfície, que conforme a intensidade, quebram os agregados em pedaços menores e a medida que essas partículas se rompem ocorre a compactação do solo (Figura 01), dando início a formação de uma crosta que provoca sua selagem, dificultando a infiltração da água (GUERRA, 2006).



Figura 1: Superfície encrostada, próximo à borda da voçoroca na AM-010, km 104.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

A fragmentação dos agregados é considerada um dos primeiros fatores no processo de erosão do solo, pois quando ocorre a ruptura é que desenvolvem-se outros processos no solo, como a desestabilização e, conseqüentemente ocorre o processo erosivo.

Para Farres (1978: p. 246):

a evolução da ruptura dos agregados se inicia com o impacto das gotas de chuvas e, uma vez vencida a resistência interna dos agregados à

energia cinética dessas gotas, a tendência é que elas se rompam, formando partículas pequenas, ou seja, grãos individuais, que poderão preencher os poros existentes no topo do solo, diminuindo não só a porosidade, mas aumentando a densidade aparente.

## 1.1 Infiltração e escoamento superficial

O ciclo hidrológico é de importância fundamental para o processo erosivo, pois parte da água da chuva cai diretamente no solo, outra parte é interceptada pela cobertura vegetal, podendo retornar a atmosfera pela evaporação ou chegar ao solo, através do gotejamento das folhas ou pelo fluxo de tronco (GUERRA, 2012).

A água que chega ao solo pelo impacto das gotas ou de forma indireta após ser interceptada pela cobertura vegetal, é que vai atuar no processo erosivo. A água pode percorrer vários caminhos, começando pelo *splash*, depois infiltra, podendo saturar ou não o solo, depois se armazena nas irregularidades do solo, formando as poças (*ponds*), que darão início ao escoamento superficial, que está diretamente associado à erosão laminar, e mais freqüente em solo saturado (DUNNE, 1979 apud VIEIRA, 2008).

O processo de infiltração é o resultado dos mecanismos de entrada de água na superfície do solo, do armazenamento e difusão de umidade na camada superficial do solo. Sob algumas condições específicas, o solo possui uma capacidade máxima de absorção da água, a qual Horton (1933 apud COELHO NETTO, 1998) definiu como capacidade de infiltração.

Quando a água atinge o solo pode ser armazenada em pequenas poças, que são as irregularidades existentes na superfície do terreno, e uma vez que não atingem sua capacidade de absorção conectam-se umas as outras, dando início ao escoamento em lençol (GUERRA, 2004)

Múltiplos fatores controlam e regulam a capacidade do solo em absorver água, entre eles a intensidade pluvial, que associada às demais propriedades do solo, determina a quantidade de chuva que entra e excede a capacidade de infiltração, assim como longos períodos chuvosos conduzem o solo a saturação; a cobertura vegetal aumenta a capacidade de infiltração, principalmente pela influência da serrapilheira; a textura, profundidade e umidade antecedente do solo definem a quantidade de água a ser armazenada antes de atingir a saturação (COELHO NETO, 1998). As atividades biogênicas aumentam a capacidade de infiltração, uma vez que a passagem dos pequenos animais aumentam os poros do solo, facilitando a infiltração e a percolação

através da ação desenvolvida pela fauna escavadora e o enraizamento dos vegetais (COELHO NETTO, 1998).

As superfícies profundas com textura grosseira e grande quantidade de matéria orgânica apresentam alta capacidade de infiltração, já os solos mais rasos e com maior concentração de argila mostram taxas baixas de infiltração e a umidade antecedente faz com que o solo se sature mais rapidamente cessando a infiltração e iniciando a formação de poças ou escoamento. O escoamento saturado ocorre quando o solo já absorveu uma quantidade expressiva de água, não recebendo mais que sua capacidade, já o escoamento hortoniano, ocorre quando o solo não absorve água devido a presença de ar nos poros, impedindo a infiltração.

No início do escoamento superficial a capacidade de erosão vai ser definida primeiramente pela velocidade do fluxo na descida da encosta, espessura da lâmina d'água e turbulência. A remoção inicial das partículas pelo fluxo superficial é atribuída à força do cisalhamento, à medida que o fluxo desce a encosta estabelecendo o processo erosivo (HORTON, 1945 apud GUERRA, 1998).

Assim como a infiltração e a formação de poças antecedem o escoamento superficial (GUERRA, 2006), o fluxo linear é o próximo passo, onde ocorre a concentração do fluxo de água em canais pequenos e aleatórios da encosta, diminuindo a velocidade devido ao aumento da rugosidade do canal e aumentando a profundidade. Nesse estágio de evolução da passagem de água, que deixou de ser difuso/laminar e passou a ser concentrado/linear, os sedimentos que se concentraram no interior do fluxo entram em atrito com o fundo dos pequenos canais, propiciando erosão aos canais que se formam.

## **1.2 Fatores controladores de erosão**

O surgimento de feições erosivas, e conseqüentemente de voçorocas depende das variações das taxas de erosão, as quais estão ligadas à ação de fatores controladores, como os processos hidrológicos, as propriedades físicas dos solos, a erosividade, as características da encosta, a cobertura vegetal (GUERRA, 1994) e a intervenção antrópica.

O desenvolvimento contínuo básico da ação de erodir é de fundamental importância para a compreensão da forma de ocorrência de erosões e as possíveis conseqüências dessas ações, tal como destaca Guerra (1994):

A dinâmica erosiva é controlada por fatores de erodibilidade, que são as propriedades físico-químicas dos solos e a segunda é a erosividade, que pode ser entendida pela característica das chuvas (p. 39).

### 1.2.1 Erosividade

É a capacidade que a chuva tem em provocar erosão, dependendo de alguns aspectos, como: a intensidade e o total de precipitação; momento; energia cinética e características das gotas da chuva. A intensidade da chuva é o parâmetro mais importante para estabelecer as taxas de perda de solo (GUERRA, 1994). Assim como influencia as taxas de infiltração que podem gerar escoamento superficial quando a capacidade de infiltração é excedida (HORTON, 1945).

A erosividade se dá em parte ao impacto direto das gotas de chuva, e parte ao escoamento ocasionado pela chuva. A capacidade de chuva em causar erosão do solo está ligada a distribuição dos pingos de água na superfície. A ação das gotas de chuva na superfície exerce uma pressão, desagregando as partículas do solo (VITTE, 2007).

### 1.2.2 Erodibilidade

Representa a vulnerabilidade do solo à erosão dentro de características específicas. Entre as várias propriedades do solo que influenciam os processos erosivos, destacam-se a textura, a densidade aparente, a estabilidade dos agregados e o teor de matéria orgânica (VIEIRA, 2008). Deve-se levar em consideração também o estado inicial dos solos, que pode variar ao longo do tempo, após um evento chuvoso ou ainda pelo seu uso, produzindo assim modificações na erodibilidade (GUERRA, 1994).

Segundo Lal (1988), erodibilidade do solo é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente. Esses processos são influenciados pelas propriedades do solo, assim como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos.

Além desses, consideram-se que, os parâmetros do solo que afetam a sua estrutura, hidratação, e as características da circulação da água que afetam a erodibilidade do solo. Essas características do solo são propriedades dinâmicas, pois podem ser alteradas a todo tempo e sob diferentes usos da terra, manejo superficial do solo, e sistemas de agricultura e, assim, conseqüentemente, sua erodibilidade também muda ao longo do tempo (VITTE et al, 2007).

### 1.2.3 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é essencial para a proteção do solo, pois impede que a gota de chuva atinja diretamente a superfície, sendo seu impacto amortecido pela copa das árvores e a formação da serrapilheira.

A existência de uma camada espessa de serrapilheira na superfície do terreno diminui o impacto causado pela gota de chuva, reduzindo a erosividade e facilitando a infiltração de água no solo (GUERRA, 2006). Os diferentes tipos de cobertura vegetal podem oferecer maior ou menor proteção ao solo e, assim, conseqüentemente, interferindo na intensidade do processo erosivo (VITTE, 2007).

### 1.2.4 Características Das Encostas

As características da encosta podem ter um reflexo direto no processo erosivo, entre tais características, destacam-se: a declividade, o comprimento e a forma . Nas encostas com acentuado grau de declividade, a água tem menos tempo de infiltrar, assim como os obstáculos e as resistências ao escoamento da água são menores, possibilitando o escoamento superficial (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

As principais ocorrências da inclinação de terrenos, são a maior velocidade de fluxos de água concentrados e a maior quantidade de partículas do terreno desprendidas de seu lugar e transportadas para perto ou longe de seu ponto de origem. Outro aspecto ligado à influência das encostas nos processos erosivos diz respeito ao comprimento (CUNHA et al., 1991), parâmetro que deve ser analisado em conjunto com outros aspectos, como declividade, formas da encosta e propriedades do solo (GUERRA, 1994).

### 1.2.5 Ação Antrópica

Os processos erosivos estão associados a diversos fatores naturais, que variam no tempo e no espaço. É importante destacar que a erosão é um processo natural diretamente ligado a condicionantes naturais, como solo, relevo, cobertura vegetal e clima, podendo ter seus efeitos ampliados por algum evento ou ainda pela intervenção do homem (VIEIRA, 2008).

A ação humana altera a dinâmica natural da vertente através da retirada da cobertura vegetal, elemento importante para a sua estabilidade. A vegetação determina o volume de precipitação que atinge a superfície inclinada, amortece o impacto das gotas de chuva, direcionando os escoamentos superficiais e fortalece o solo para resistir aos efeitos das forças erosivas (MOLINARI, 2007).

Para Guerra (2003) as intervenções humanas têm papel importantíssimo como agente preparatório para a ocorrência de movimentos de massa. Em termos gerais, o uso e ocupação irregular de áreas naturalmente susceptíveis a erosão, como as encostas íngremes, e/ou a mudança na geometria das encostas acelera e amplia a instabilidade dessas superfícies.

A ação do homem acelera a dinâmica dos processos nessas superfícies, principalmente desequilibrando a relação existente entre água e solo, onde os efeitos se manterão em toda a vertente. Assim, as porções mais superficiais dos solos exercem influência dominante sobre os processos que regulam a distribuição das águas nas vertentes (HORTON, 1933 apud COELHO NETTO et al., 1980). As rodovias acabam acelerando o processo de erosão, seja pela distribuição e escoamento nas vertentes, obras de infraestrutura e canalização de cursos d'águas.

### 1.3 Sulcos, Ravinas e Voçorocas

A erosão dos solos tem causas relacionadas à própria natureza, como a quantidade e distribuição das chuvas, a declividade, o comprimento, a forma das encostas, o tipo de cobertura vegetal e também a ação do homem, como o uso e o manejo da terra que na maioria das vezes, tende a acelerar os processos erosivos (GUERRA e MENDONÇA, 2004).

A degradação do solo por meio da erosão tem causado problemas às populações localizadas tanto em áreas rurais como urbanas (NASCIMENTO, 1998) e parte dessa degradação é causada por voçorocas. Além dessas, outras feições erosivas merecem destaque como os sulcos (Figura 02) e ravinas.



Figura 2: Sulcos em incisão erosiva na AM-010, km 145.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013

Pode-se observar em áreas de solo exposto feições erosivas em sulcos e ravinas traços acentuados de sua ação. Durante o período de chuva, o escoamento se concentra em pequenos filetes, que são hierarquizados, passando a alimentar uma calha principal mais desenvolvida, os sulcos. Os sulcos são considerados instáveis, podendo ser eliminados facilmente com a preparação do solo, contudo se for ignorado, pode-se aprofundar originando uma ravina (FARIA, 1996).

Os sulcos são pequenos canais de alguns centímetros de profundidade formados pela ação do escoamento superficial (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1975 apud VIEIRA, 2008), quando a água da chuva acumula nas depressões e depois começa a fluir, adotando uma trajetória de mínima resistência.

As ravinas também são canais incisivos, mas apresentam forma de calha em “V”, que resultam do desequilíbrio natural ou da ação antrópica cuja formação não se difere dos sulcos, ocorrem quando a velocidade do fluxo de água aumenta na encosta e se torna concentrado (GUERRA, 2006). O ravinamento geralmente tem início a partir

de um ponto na encosta, e seu crescimento se dá montante para a jusante (HORTON, 1945 apud FARIA, 1996). A maior parte do sistema de ravinas é descontínua, isto é, não tem nenhuma conexão com a rede de drenagem fluvial (MORGAN, 1986 apud GUERRA, 1994).

A retirada de vegetação deixa o solo mais suscetível aos processos erosivos, além disso, o uso do solo para fins agrícolas tende a antecipar as mudanças no teor de matéria orgânica acelerando o processo de formação de ravina.

Os estudos de campo e os de laboratórios são igualmente importantes para compreensão da dinâmica de formação e evolução de ravinas, que permanecendo nos mesmos locais por um longo período, quase sempre evoluem para voçorocas, iniciando um novo estágio na evolução da rede de drenagem (BRYAN, 1987 apud GUERRA, 2006).

A voçoroca é um canal de drenagem com paredes abruptas, com fluxos temporários ou eventualmente pequenos, erosão geralmente intensa e cabeceira bastante íngreme e escapada (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985). Oliveira (1999) descreve as ravinas e voçorocas como incisões resultantes de desequilíbrios naturais ou induzidos pela ação antrópica. Vieira (2008) caracteriza voçoroca (Figura 03) como incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais e fundo plano, formando secção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m. O quadro 01, organizado por Vieira (2008) mostra vários conceitos de voçorocas.



Figura 3: Voçoroca na rodovia AM-010, km 46.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

Quadro 1: Conceitos de voçorocas.

<b>01</b>	Soil Science Society of América, 1975	Incisão com profundidade superior a 0,30 m.
<b>02</b>	Bigarella e Mazuchowski, 1985	Canal de drenagem de paredes abruptas com fluxos efêmeros ou eventualmente pequenos.
<b>03</b>	Instituto Paulista de Tecnologia – IPT (São Paulo, 1990).	Incisão erosiva que apresenta como características principais a queda em bloco e afloramento do lençol freático.
<b>04</b>	Guerra, 1994	Possui paredes laterais íngremes, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante eventos chuvosos.
<b>05</b>	Canil et al., 1995	Canal profundo com paredes irregulares e perfil transversal em U e resultante da ação combinada entre escoamento superficial e subterrâneo.
<b>06</b>	Vieira, 1998	Incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano, secção transversal em U.
<b>07</b>	Oliveira, 1999	Incisão natural resultante de desequilíbrios naturais ou induzidos pela ação antrópica, com profundidade e largura superiores a 0,50 m,
<b>08</b>	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.
<b>09</b>	Vieira (1998) modificado para este trabalho.	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: Adaptado de Vieira, 2008.

Bigarella e Mazuchowski (1985), apontam os seguintes condicionantes para as voçorocas de origem antrópica: a) nos movimentos de massa frequentes ao longo dos cortes nas rodovias, onde ocorreu a desestabilização das encostas e como consequência os deslizamentos de terra; b) dos fluxos hidrológicos subsuperficiais como os dutos de drenagem tubulares no interior dos solos, que quando estão próximos a superfície acarretam o desabamento do teto, causando o afundamento da superfície do solo.

As formas das voçorocas (Figura 04) podem auxiliar no entendimento de sua origem. Nesse sentido Vieira (2008), definiu cinco padrões de voçoroca: **linear**, está ligada á existência de uma zona principal de convergência de drenagem; a **bifurcada** apresenta duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados; a **ramificada** se caracteriza pela ocorrência de vários canais de drenagem superficiais; a **irregular** pode está ligada a existência de um ou mais fluxos superficiais concentrados, caracterizando-se transitório entre as outras formas existentes; a **retangular** pode ser, na maioria dos casos a forma final da expansão de uma das outras formas descritas.

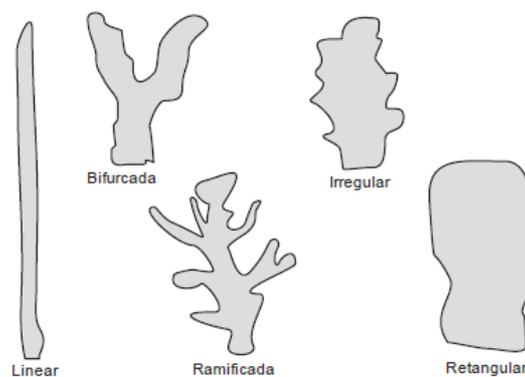


Figura 4: Forma das características das voçorocas.  
Fonte: Vieira, 2008.

A classificação quanto ao tipo e a forma da incisão erosiva, auxilia no estabelecimento de estágio de evolução da mesma, permitindo possíveis previsões de crescimento. A ação das águas superficiais e subterrâneas são fatores decisivos para a rápida evolução destas formas.

As voçorocas segundo Oliveira (1989), podem ser de três tipos (Figura 05): 1) conectadas - se associam ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes baixas da encosta, podendo ser consideradas canais de primeira ordem; 2) desconectadas - encontrando-se na parte superior da encosta, estão ligadas ao escoamento superficial e/ou a movimentos de massa e não poderiam ser consideradas canal de primeira ordem por não estarem ligadas a nenhuma rede de drenagem; e, 3) integradas - são na verdade a junção das duas formas anteriores (voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas),

formando uma só incisão erosiva (VIEIRA, 2008) estas mudam totalmente a forma do relevo.

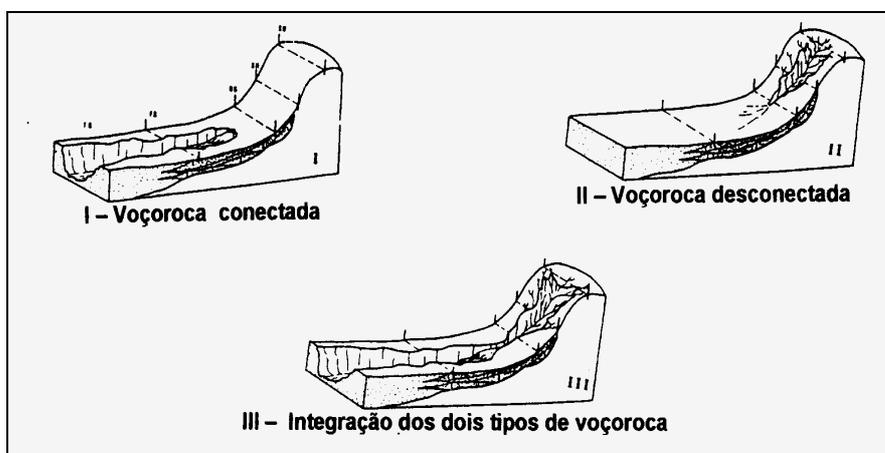


Figura 5: Modelo de evolução das voçorocas.  
Fonte: Oliveira, 1989.

As voçorocas podem ser classificadas também quanto ao tamanho, pelo volume erodido em  $m^3$ . Vale destacar, que tal classificação ajuda a visualizar a magnitude da feição e o volume erodido, servindo também como subsídio para a recuperação da área degradada (VIEIRA, 2008).

Quadro 2: Classificação das voçorocas por tamanho ( $m^3$ ).

Ord.	Volume erodido	Tamanho
01	Até $999m^3$	Muito pequena
02	De $1.000m^3$ até $9.999m^3$	Pequena
03	Entre $10.000m^3$ e $19.999m^3$	Média
04	Entre $20.000m^3$ e $40.000m^3$	Grande
05	Mais de $40.000m^3$	Muito grande

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004)

As feições de retrabalhamento no interior das voçorocas resultam da atuação dos mecanismos de reafeiçoamento erosivo e constituem-se importantes indicadores de atividades de denudação nas voçorocas.

Essas feições no interior das voçorocas são importantes, uma vez que indicam o estágio de erosão, e revelam com maior precisão onde a voçoroca está ativa. As feições erosivas mais comuns dentro de voçorocas são: pedestais, alcovas de regressão, dutos de convergência, marmitas, costelas, (OLIVEIRA, 2006).

- Pedestais (*demoiselles*) (figura 06) apontam a ocorrência de salpicamento intercalados com a remoção de partículas pelo escoamento superficial laminar, sendo comuns no interior de incisões onde não há presença de vegetação.



Figura 6: Formação de pedestais na voçoroca na AM-010, km 135.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

- Filetes verticais (figura 07) são feições erosivas comumente observadas nas paredes das voçorocas esculpidas em material pouco coesivo, no entanto, sua ação pode ser observada em materiais que apresentam maior coesão (OLIVEIRA, 2012).

- Alcovas de regressão podem ser observadas sob diferentes condições litológicas ou climáticas, podem ser esculpidas pelo escoamento subsuperficial na forma de filetes subverticais ou pela exfiltração do lençol freático, ou pela interação desses dois mecanismos (OLIVEIRA, 2012).



Figura 7: Filetes verticais presentes na voçoroca na AM-010, km45.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.



Figura 8: Alcovas de regressão presente na voçoroca  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

- Dutos de convergência são geralmente esculpidos pela convergência do fluxo superficial para o interior das fendas, resultam da interação de erosão por queda d'água e eventuais ressurgências de zonas de saturação, que são áreas onde o solo absorve quantidades expressivas de água (OLIVEIRA, 2012).

Marmitas ou panelas apontam a atuação de erosão por queda d'água na base dos taludes ou de degraus no interior das voçorocas (OLIVEIRA, 2012). Podem ocorrer em vários pontos das voçorocas: fundo (superfície plana) e nos degraus existentes no interior da incisão. Quando se formam pela ação turbilhonar da água de escoamento superficial concentrado, podem ser referidas como marmitas torrenciais (GUERRA e GUERRA, 1997) e ocorrem geralmente na superfície plana da incisão, em formas cilíndricas a semi-esféricas (VIEIRA, 2008).

Depressões são feições de detalhe que podem ser encontradas em materiais de origem diversa e indicam variações, em profundidade, da resistência ao cisalhamento dos materiais de cobertura superficial (NASCIMENTO, 1998 apud OLIVEIRA, 2006).

Costelas são consideradas feições de detalhes que demonstram algum tipo de resistência ao cisalhamento (NASCIMENTO, 1998) e segundo Oliveira (1999), são produzidas pela ação de filetes subverticais ou pela ação de exfiltração do lençol freático. Sobre essas feições pode ocorrer a formação de marmitas e alcovas de regressão (VIEIRA, 2008).

Fendas apontam a existência de movimento generalizado da encosta em torno da incisão erosiva, essa feição serve de passagem para água proveniente tanto da superfície da encosta quanto do lençol freático, constituindo o que geralmente se denomina de *pipings* (dutos).

Poças de ressurgência indicam áreas de ressurgência do lençol freático, ao longo das incisões erosivas. Sua identificação é fundamental para o correto dimensionamento de eventuais estruturas de correção da erosão (OLIVEIRA, 2012).

As feições esculpidas recentemente apresentam estrutura sedimentares ou erosivas efêmeras, que indicam a direção do fluxo. A observação das feições é importante pois auxilia a compreensão dos processos erosivos, que não somente alteram a paisagem, mas acarretam em impactos diretos e indiretos ao ambiente e a sociedade.

A erosão é, portanto, causadora de impactos sociais e ambientais. A degradação causada por erosão em áreas urbanas, afeta principalmente obras implantadas em cortes profundos e na perda de áreas que poderiam ser destinadas a moradias, além de provocar o desaparecimento de mananciais e acentuar os efeitos das inundações.

## **2 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA RODOVIA AM-010**

Definir geoambientes é também definir paisagens, que de acordo com Suertegaray (2005), a paisagem é um conceito operacional, que permite analisar o espaço geográfico sob uma dimensão, a da conjunção de elementos naturais/tecnificados, sócio-econômicos e culturais.

A paisagem, para Ab'Saber (1969) é uma herança histórica que passa de gerações a gerações para as pessoas. Segundo Soares Filho (1998) a primeira definição sobre paisagem, no meio científico, surgiu de Humbolt, no século XIX, preocupando-se sempre em estudar os fatores naturais, inter-relacionando-os com a sociedade.

De acordo com Christofolleti (1999) a paisagem ganhou novo significado a partir de Trool em 1938, quando falou sobre ecologia da paisagem, interligando o estudo da Geografia e ecologia, dando a esse estudo a essência de perceber a natureza e o ser humano como integrantes e formadores da paisagem.

Desde então, uma diversidade de conceitos surgiram, contudo a ideia central do estudo da natureza e a integração do ser humano como parte dos elementos que constituem a natureza predominam em boa parte das definições sobre paisagem. Portanto, a paisagem das rodovias foi classificada em unidades geoambientais, revelando seu equilíbrio natural e sua relação com as interferências antrópicas.

### **2.1 Área de Estudo**

A cidade de Manaus é ligada a outros municípios por dois eixos rodoviários fundamentais, que compõem a malha do Estado: Rodovia Estadual AM-010 e Rodovia Federal BR-174 (Anuários Estatísticos Bienio 2008-2009). A área de estudo (figura 09) compreende a estrada da AM-010 pertencentes à região metropolitana de Manaus a 234 km que liga aos municípios de Rio Preto da Eva, Itapiranga, Silves e Itacoatiara.

#### **2.1.1 Manaus**

A cidade de Manaus situa-se na confluência do Rio Negro com o Rio Solimões, pertencente à microrregião do Médio Amazonas. Da sede até a foz do rio Amazonas, no Oceano Atlântico, Manaus dista cerca de 1700 km em linha reta (W-E), com um

# AM-010 - Manaus/Rio Preto da Eva/Itacoatiara

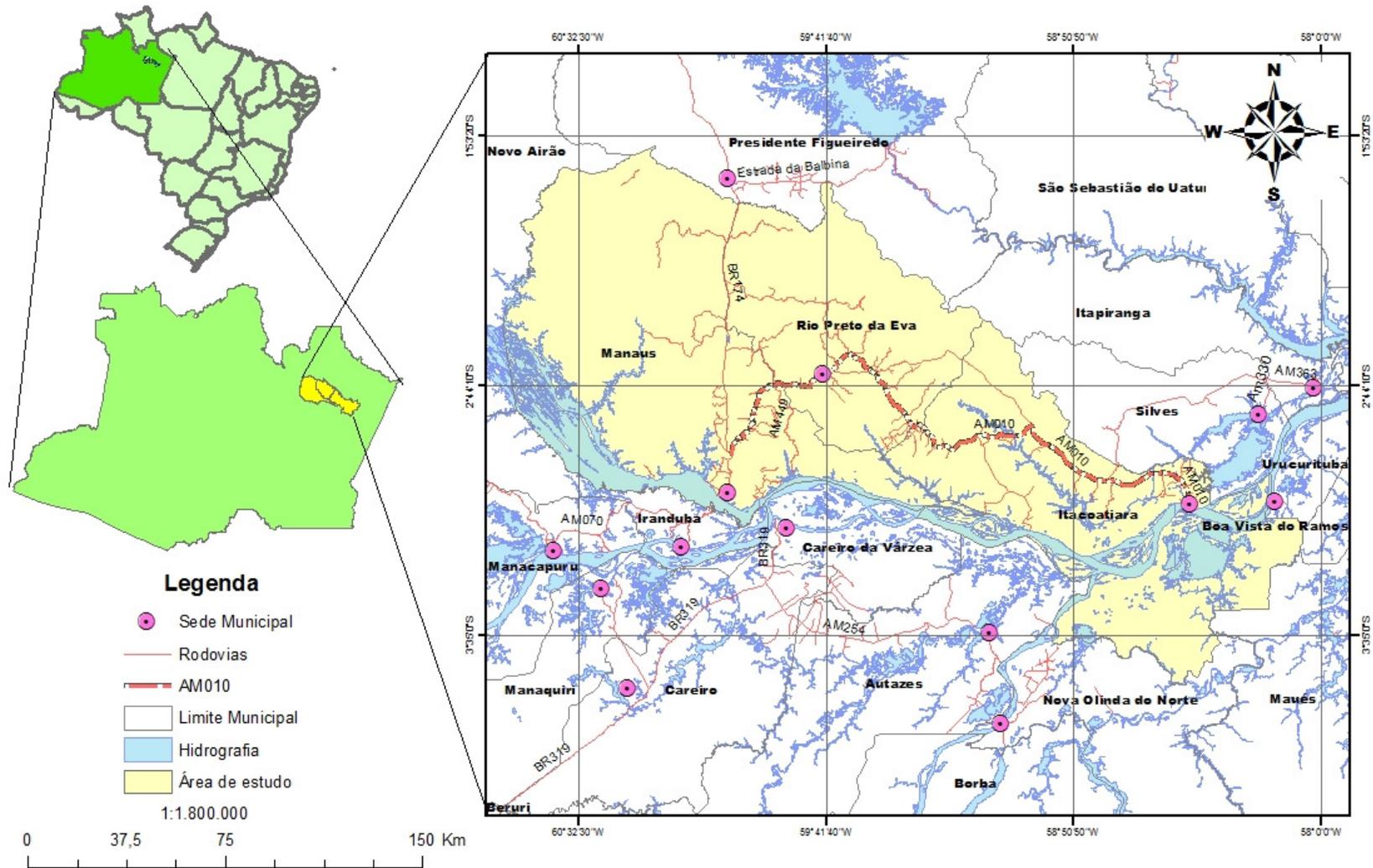


Figura 9: Localização da rodovia AM-010.  
Org.: Anne Dirane, 2013.

desnível de apenas 20m partindo das margens do Rio Negro em direção ao nível do mar (VIEIRA, 2008).

Os limites urbanos de Manaus (inclusive as áreas para expansão urbana) apresentam seus pontos extremos (N, S, E, W) as seguintes coordenadas geográficas: **leste:** 03°01'04'' S e 59°49'27'' W, **oeste:** 03°03'08" S e 60°06'49" W, **norte:** 02°58'14" S e 60°00'55" W, **sul:** 03°09'32" S e 59°58'55" W. O município faz fronteira com os seguintes municípios amazonenses: ao norte, limita-se com o município de Presidente Figueiredo; ao sul, com os municípios de Iranduba e Careiro; a leste, com os municípios de Itacoatiara e Rio Preto da Eva e a oeste com o município de Novo Airão (VIEIRA, 2008).

Com a criação da Zona Franca em 1976, Manaus transformou-se em um dos centros econômicos mais dinâmicos da Amazônia, exercendo forte atração sobre a população do interior do estado e de estados vizinhos.

A ascensão da economia motivou a migração de pessoas que procuravam se estabelecer na capital do estado buscando melhores condições de vida. Dessa forma o crescimento não se deu somente na economia, mas no espaço físico, que era cada vez mais procurado pelas pessoas que se estabeleciam na cidade.

### 2.1.2 Rio Preto da Eva

Sob o código municipal N°. 03569, é situado no vale do Rio Preto da Eva, à altura do km 80 da rodovia estadual Am-010 (Manaus – Itacoatiara). Sua área territorial é de 5.591 Km<sup>2</sup>, representando 0,36% da área do Estado. Segundo o IBGE (1996), o município de Rio Preto da Eva, desmembrado dos municípios de Itacoatiara, Manaus e Silves constituído pelo distrito de Rio Preto da Eva, têm os seus limites assim definidos: Com o Município de Itapiranga: começa nas cabeceiras do Igarapé Tucumanduba no divisor de águas dos rios Urubu-Uatumã; este divisor para sudeste, até alcançar sua interseção com o divisor de águas dos igarapés Lindóia - Bolha. Com o Município de Itacoatiara começa na interseção do divisor de águas dos igarapés Lindóia - Bolha com o divisor de águas dos rios Urubu-Uatumã até o divisor de águas Iga. Com o Município de Manaus: começa no Rio Preto da Eva, subindo por sua linha mediana até alcançar a confluência do Igarapé Itucumã; este igarapé, por sua linha mediana, até alcançar suas cabeceiras; o paralelo

dessas cabeceiras, para oeste é alcançar sua interseção com o igarapé Jatuarana, subindo por sua linha mediana até alcançar suas cabeceiras, no divisor de águas Rio Preto da Eva/Puraquequara; este divisor, para noroeste, até alcançar o divisor de águas de Rio Preto da Eva/Igarapé Tarumã; este divisor para noroeste, até alcançar sua interseção com rodovia BR-174; esta rodovia, no sentido de Território Federal de Roraima, até alcançar sua interseção com o rio Urubu.

### 2.1.3 Itacoatiara

O Município de Itacoatiara- Estado do Amazonas, possui uma área de aproximadamente 7.426,88 Km<sup>2</sup> e pertence à microrregião n° 10 da classificação do IBGE e à microrregião n° 8 do II PDA. Limita-se ao norte com o Município de Silves, ao sul com o Município de Manaus, a leste com o Município de Rio Preto da Eva e a oeste com o Município de Maués, sua sede possui como coordenadas geográficas , 03°08'54" de latitude sul e 58 0 25'00" de longitude a oeste de Greenwich (WGr). A sede deste município localiza-se à margem esquerda do Rio Amazonas distando 285 km da cidade de Manaus, com acesso pela Rodovia AM-010 e por via fluvial pelo Rio Amazonas. No mapa de localização (figura 09), verifica-se a posição deste município em relação ao Estado.

## 2.2 Geologia

A rodovia AM-010 está inserida na Formação Alter do Chão (figura 10) encontra-se representada por uma grande variedade de arenitos e argilitos (incluindo caulins), com subordinada fração conglomerática (CARVALHO et al, 2003 apud VIEIRA e MOLINARI, 2005). Tem sido atribuído para a unidade um sistema deposicional continental que ocorre em discordância a algumas unidades paleozóicas das bacias do Amazonas e Solimões. A formação foi por muito tempo correlacionada às rochas sedimentares do Grupo Barreiras que aflora na região costeira do país, tendo sido posteriormente desvinculada a partir da identificação de dentes de dinossauro terópodo encontrado no poço 1-NO-1-AM (Nova Olinda) por Price (1960) apud Vieira (2008), que forneceu seu estabelecimento ao Cretáceo Superior.

A característica geológica dessa formação permite distinguí-la facilmente das unidades paleozóicas da Bacia do Amazonas. Esta formação está distribuída de leste a

oeste na área de estudo, desde a cidade de Silves até o Município de Manacapuru. Ao norte, essa unidade está em discordância com as formações do Grupo Trombetas, a oeste, o contato é com a Formação Içá/Formação Solimões, que também a sobrepõem em discordância. Ao longo da planície aluvionar do sistema Rio Solimões-Amazonas, a Formação Alter do Chão (Figura 10) está coberta por depósitos aluvionares recentes e sub-recentes (SILVA, 2005).

De acordo Silva (2005) essa unidade está constituída por arenitos finos a médios, com níveis argilosos, caulíníticos, inconsolidados, contendo grânulos de seixos de quartzo esparsos, com estratificação cruzada e plano-paralela. O nível basal compreende uma camada de arenito litificado, que foi denominado de “Arenito Manaus” por Albuquerque (1922), cuja terminologia é comumente usada na região.

O “Arenito Manaus”, embora tenha denominação própria não é considerado um membro ou fácies distinta dessa referida formação. Este é caracterizado por arenitos e siltitos silicificados, em geral avermelhados, por vezes esbranquiçados (caulinítico), compacto, que apresentam estruturas sedimentares preservadas (estratificações plano-paralela e cruzadas), contendo fragmentos de madeira, restos de carvão preservados e marcas de raízes, distribuídos, mormente nas margens dos rios e igarapés da região. Estes são alvos de exploração em inúmeras pedreiras próximas a pequenos cursos d’água na região, cujo material é muito empregado como brita para construção civil.

Para Franzinelli et al. (2003), o “Arenito Manaus” está constituído basicamente por quartzo/arenito, supermaturo, homogêneo, com granulação média a grossa, pobremente selecionado, com quantidades variadas em cimento e constituído por agregados de quartzo associado à matriz de caulinita. Para explicar a origem da silicificação desse nível estratigráfico na Formação Alter do Chão, os citados autores sugerem três fases de modificações diagenéticas: a) durante a fase deposicional (eogênese), b) durante o soterramento (mesogênese) e c) por soerguimento e erosão (telogênese), sob influência de fatores deposicionais, climáticos, tectônicos e de intemperismo.

A característica peculiar da Formação Alter do Chão na região é o predomínio de camadas arenosas estratificadas e caulíníticas, com aparência esbranquiçada, e o ambiente fluvial.

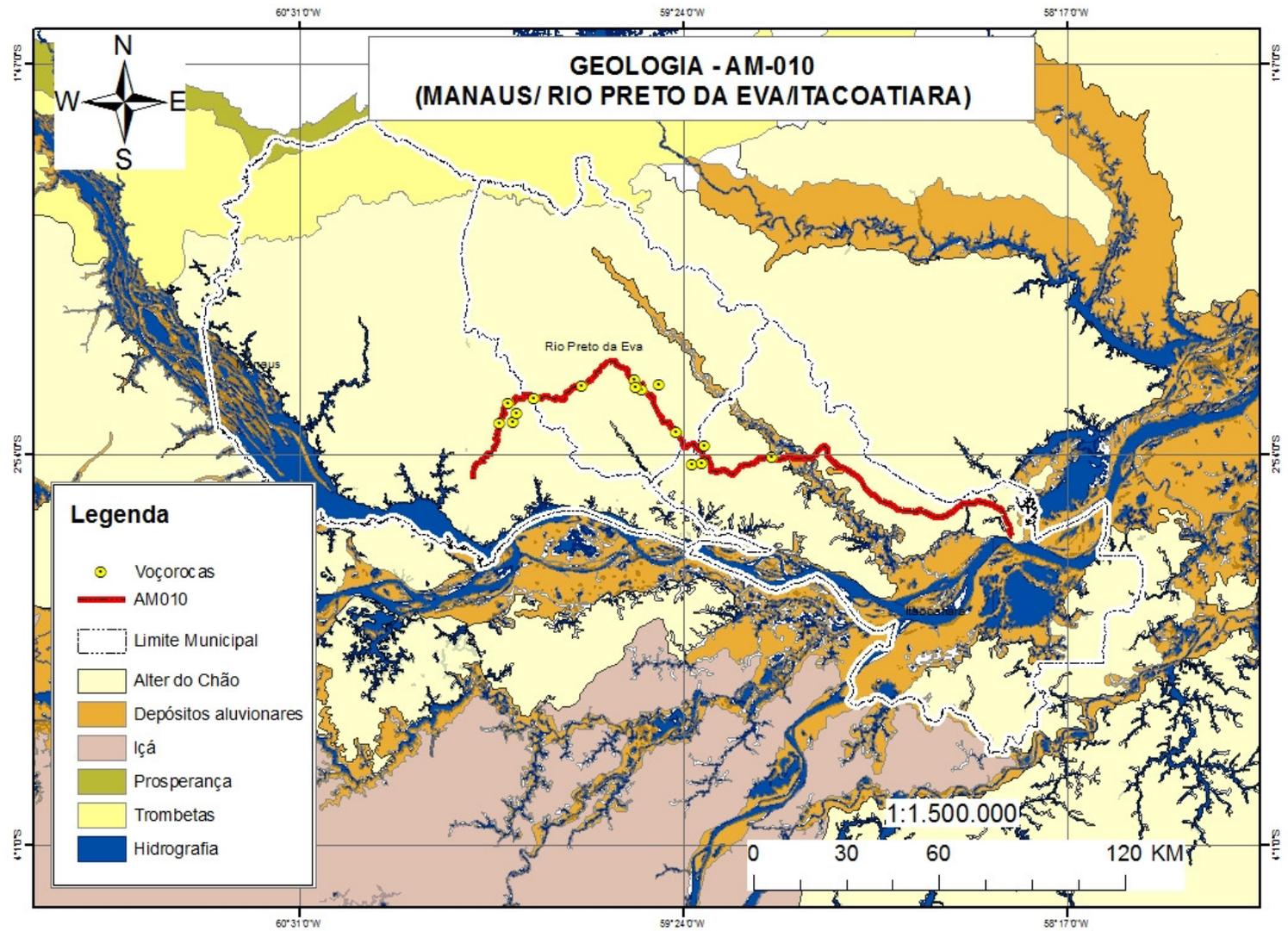


Figura 10: Geologia da rodovia AM-010.  
Org.: Anne C. M. Dirane, 2015.

Mas, pacotes avermelhados (ferruginizados), devidos ao processo de intemperismo, também são encontrados, cuja cor resulta da alteração em ambiente oxidante, onde as flutuações do lençol freático foram efetivas na precipitação do ferro (hematita) (SILVA, 2005).

### **2.3 Geomorfologia**

A rodovia AM-010 esta inserida na Unidade Geomorfológica do Planalto Dissecado Rio Trombetas/Rio Negro, maior unidade geomorfológica da região, está representado por colinas pequenas e médias dissecadas, vales fechados e drenagens subdendríticas, desenvolvido em uma ampla superfície sobre a Formação Alter do Chão. Nessa superfície predominam colinas com cotas de 50 m a 100 m marcadas por fortes rebordos erosivos abruptos com vales estreitos em V e zonas de interflúvios estreitas e alongadas (NW-SE e NE-SW) que separam amplas bacias de drenagens assimétricas (SILVA, 2005).

De acordo com Silva (2005) essa superfície contrasta com as zonas de tabuleiros que ocorrem no Planalto da Bacia Sedimentar do Amazonas (Figura 11), onde as colinas são amplas com topos horizontais, encostas abruptas, e vales abertos de fundo chato. Nessa área, os interflúvios são extensos, com elevado grau de dissecação e orientados segundo as direções NE-SW, NW-SE, N-S e E-W.

A erosão e dissecação seguem duas direções principais NW-SE e NE-SW, isso tem reflexo na paisagem no desenvolvimento de interflúvios estreitos e alongados, orientados segundo NW-SE, como por exemplo, o interflúvio da cabeceira dos rios Preto da Eva e Urubu (exceto na porção norte, onde os interflúvios são mais amplos). Estes são separados por colinas alongadas NE-SW que formam os divisores de sub-bacias. Essas superfícies alongadas parecem refletir o arcabouço geológico-estrutural da região, pois correspondem às principais direções estruturais apontadas por Sternberg (1950), Nascimento et al. (1976), Franzinelli e Igreja (1990), Bemerguy (1997) e Costa et al. (2001) apud Silva (2005).

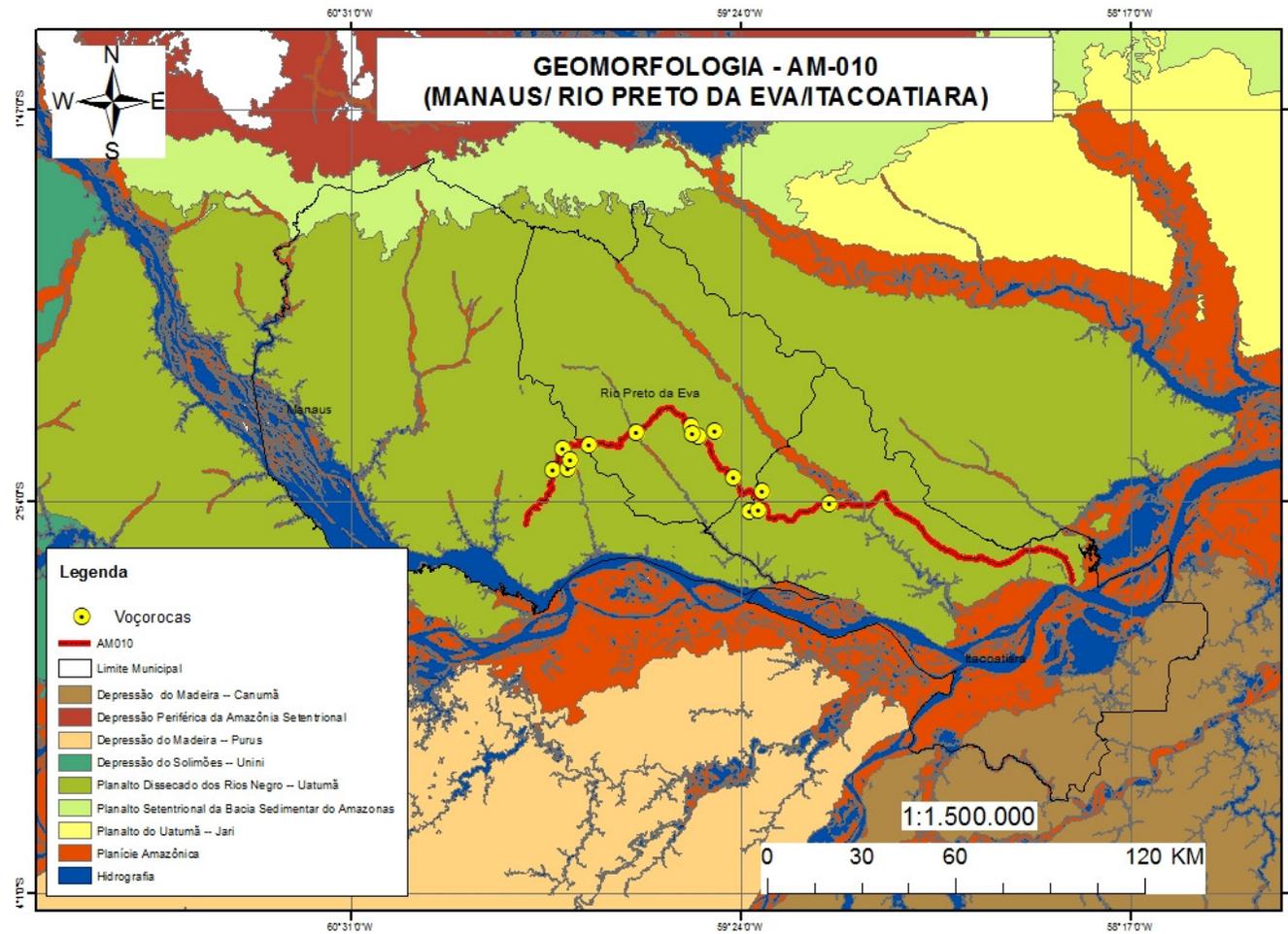


Figura 11: Geomorfológico da rodovia AM-010.  
Org.: Anne C. M. Dirane, 2015

Miranda et al. (1994), ao analisarem a morfologia do Rio Uatumã, associaram a formação de terraços situados em nível topográfico elevado e a migração dos canais desses rios como evidência do soerguimento generalizado da região com aprofundamento do canal. Tal idéia é bastante coerente, pois esse fato tem sido atestado por outras evidências na região como a erosão das unidades da Bacia do Amazonas e do colúvio e o afundamento dos canais dos rios Cuieiras, Preto da Eva e Urubu, dentre outros, e os terraços elevados e lagos abandonados. Esses elementos morfoestruturais na paisagem (escarpas de falha, terraços assimétricos e paleocanais) atestam que feições tectônicas têm contribuído para o desenvolvimento da paisagem desse setor.

As feições encurvadas observadas na região de Itacoatiara até Silves compreendem formas erosivas, onde, inclusive, estão situados terraços. Tal estrutura no relevo é responsável pelo desnivelamento desses blocos e a formação da foz afogada dos rios daquele setor (Anebá, Sanabani e Itapani) (SILVA, 2005).

## **2.4 Clima**

O clima predominante em toda região é o tipo quente e úmido das florestas equatoriais, e corresponde ao clima Am na classificação de Köppen (1948) *apud* Araújo Neto e Moreira (1976), havendo uma estação seca branda (julho a outubro), compensada por elevadas precipitações na estação chuvosa (dezembro a março). Diante disso, o clima da área de estudo representa uma transição entre o clima Af, sem estação seca definida, ou seja, clima equatorial super-úmido das regiões do alto e médio rio Negro, e o clima Aw, da região do Planalto Central Brasileiro, de período seco bem definido, de maio a setembro, quando a pluviosidade chega a ser nula em certos meses (ARAÚJO NETO e MOREIRA, 1976 *apud* MOLINARI, 2007).

As temperaturas médias anuais são elevadas, variando de 27°C a 29°C. As amplitudes diárias máximas são bastante significativas, variando de 11°C a 14°C. Entretanto, a amplitude térmica anual é menor, da ordem de 8°C, enquanto a amplitude térmica das temperaturas médias do mês mais quente e do mais frio é inferior a 2°C, caracterizando sua situação equatorial, sem estações definidas, havendo unicamente dois períodos distintos pelas diferenças de precipitação pluviométrica. No período mais quente do ano, relativo aos meses de setembro e outubro, ocorrem os valores relativos

absolutos máximos de temperatura, da ordem de 35°C a 37°C, enquanto os valores mínimos absolutos, ficam em torno de 19°C a 22°C, registrados geralmente nos meses de julho e agosto (ARAÚJO NETO e MOREIRA, 1976 apud MOLINARI, 2007).

No que se refere à umidade relativa do ar, é sempre alta (84% a 90%), nos meses de maior incidência de chuvas, quando também os valores de nebulosidade são elevados (0,7 a 0,9) e os de insolação, relativamente baixos (110 a 150 horas por mês). Nos meses de poucas chuvas a umidade relativa decresce para 73% a 80%, e a nebulosidade para 0,5 a 0,7, enquanto a insolação aumenta para 180 a 280 horas por mês. Já os ventos que incidem na área são brandos, predominantemente de nordeste para sudeste, com velocidades normalmente abaixo de 5 m/s (SANTOS et al., 1984).

## 2.5 Vegetação

A vegetação localizada as margens da rodovia AM-010, é formado por um ecossistema considerado típico da Região Amazônica, caracterizado pela presença de três formações florestais bem definidas, segundo EMBRAPA (1988), tais como: Floresta Ombrofila densa, Floresta Equatorial Higrófila de Várzea e Floresta Equatorial Hidrófila de Várzea (figura 12).

### 2.5.1 Floresta Ombrofila Densa

Esta formação ocorre nos interflúvios planálticos das terras baixas, com altitudes variando de 5 a 100 metros, quando situada entre 40 lat. N e 16 lat. S. Na região, encontra-se sob várias formas de relevo, desde o plano até o forte ondulado. Dominam os ambientes desta floresta, os Latossolos e Argissolos, com características distróficas, originados de sedimentos do Terciário Barreiras. Caracteriza-se pela exuberância de sua cobertura vegetal, com predomínio de árvores de grande porte, emergentes, como *Dinizia excelsa* (angelim) e *Manikara huberi* (maçaranduba). Sua configuração florística é muito variada em espécies arbóreas, cujos indivíduos apresentam copas luxuriantes e troncos altos e retilíneos, suportando quase sempre enormes lianas que atingem suas copas. São freqüentes e com ampla distribuição a *Bertholletia excelsa*

(castanheira), *Pithecellobium racemosum* (angelim rajado) entre outros (EMBRAPA, 2003).

### 2.5.2 Floresta equatorial higrófila de várzea

Trata-se de uma formação ribeirinha ou "floresta ciliar" que ocorre ao longo dos cursos d'água ocupando os terraços antigos das planícies do Holoceno/ Quaternário sujeitos a periódicos encharcamentos. Estende-se por ramificações infinitas por toda a região que sofre inundações, geralmente aparece com fisionomia florestal densa com cobertura uniforme e, raramente com árvores emergentes (SILVA, 2003).

Aí, estão presentes os solos: Neossolos Fluvícos, Gleissolos Háplicos e Plintossolos Háplicos em relevo plano. Na estrutura dessa floresta, predominam as espécies de rápido crescimento e de casca lisa e são freqüentes os troncos em forma de botija ou com reforços achatados do raízes aéreas ou tabulares sapopemas ou contrafortes cercando a sua base (EMBRAPA, 2003). As palmeiras são abundantes e no sub-bosque encontram-se plantas herbáceas providas de grandes folhas.

### 2.5.3 Floresta equatorial hidrófila de várzea

Existem áreas onde as plantas ocupam solos em processo de formação, situação que indica que esta vegetação está no caminho da sucessão com plantas pioneiras. Este é o caso da vegetação instalada nos solos, cuja formação se deve à acumulação de sedimentos sob influência fluvial. Essa vegetação foi agrupada sob a designação de Formações Pioneiras segundo Veloso e Gôes Filho (1982), numa tentativa de concentrá-la como a primeira ocupação, sempre com plantas adaptadas às condições ecológicas desses ambientes.

## 2.6 Solos

De acordo com a EMBRAPA (2003), foram mapeados como dominantes no município de Itacoatiara os seguintes solos: Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo, Plintossolo Háplico, Gleissolo Háplico e Neossolo Fulvico. Os solos foram classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) (figura 13), com base nos critérios e características diferenciais pertinentes aos mesmos.

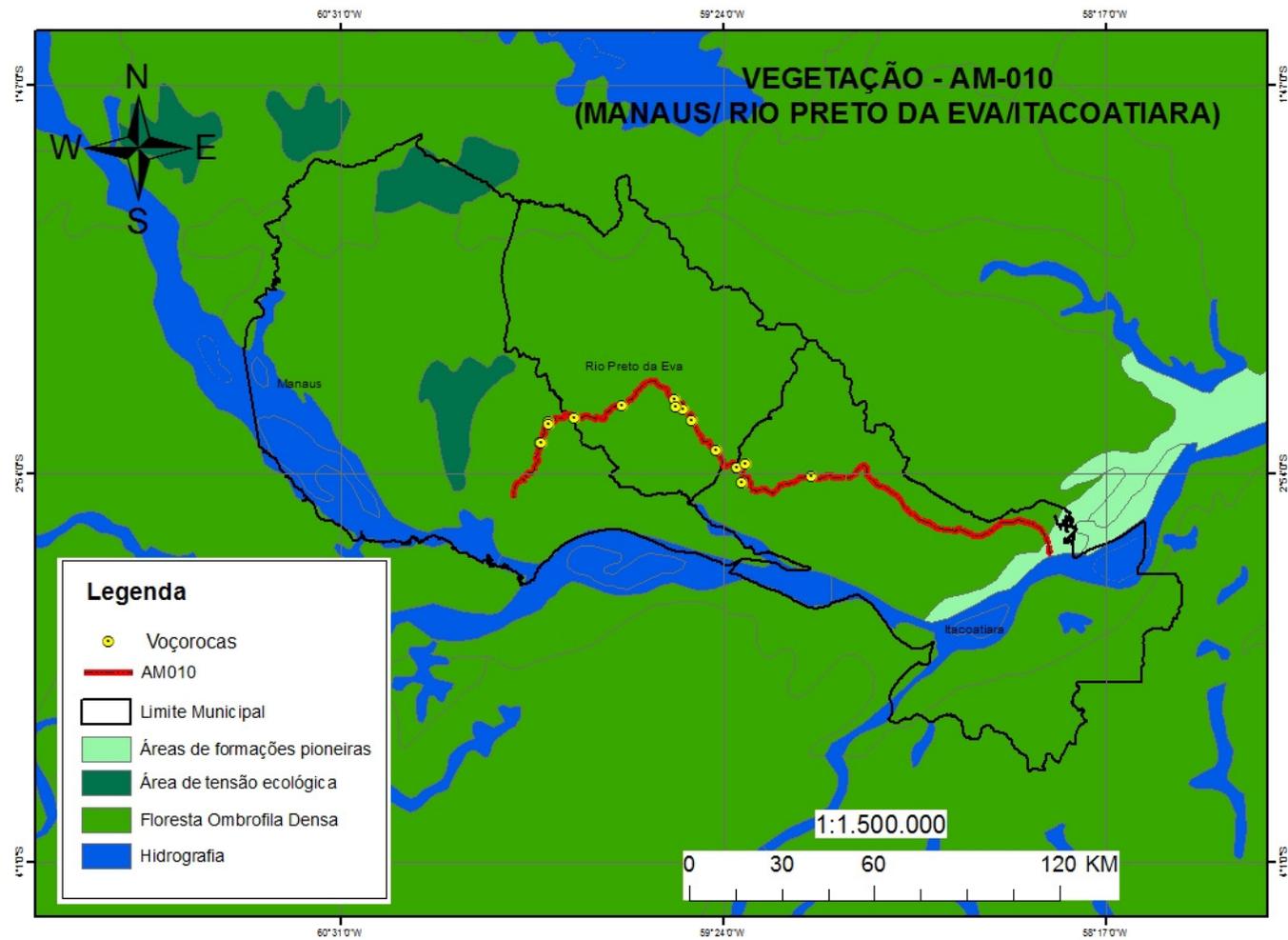


Figura 12: Vegetação da rodovia AM-010.  
Org.: Anne C. M. Dirane, 2015.

### 2.6.1 Latossolo Amarelo

Unidade pedogenética representada por solos minerais, profundos, dissaturados, bem drenados, com horizonte B latossólico (EMBRAPA, 1999). Apresentam cores brunadas e amarelo-avermelhadas nos matizes 5YR, 7,5 YR e 10 YR, sob um horizonte usualmente A fraco a moderado de textura variando de argilosa a muito argilosa. A fração argila destes solos, na região, é de natureza essencialmente caulínica (RODRIGUES et al. 1991; SILVA, 1989).

As principais características morfológicas e físicas desses solos são coloração bruno escuro a bruno amarelado no horizonte A e amarelo-avermelhado no horizonte B. A estrutura varia de fraca, pequena e média granular no horizonte A e moderada em blocos subangulares no horizonte B, nos solos argilosos e muito argilosos. A consistência varia de ligeiramente duro a duro, quando seco; friável a firme, quando úmido; e plástico e pegajoso a muito pegajoso, quando molhado. A textura no horizonte B varia de argilosa a muito argilosa, com teores da fração argila nestes últimos, podendo alcançar até 900 g/kg de solo (Falesi, 1972; Rodrigues et al. 1971, 1974; Silva et al. 1983).

Os teores de silte nesses solos são normalmente inferiores a 160 g/kg de solo, proporcionando uma relação silte/argila no horizonte B inferior a 0,6 dentro portanto do recomendado para a classe dos Latossolos (EMBRAPA, 1999). A ausência de cerosidade revestindo os elementos estruturais deve-se a pequena mobilidade da fração argila em profundidade no perfil, todavia nos solos de textura muito argilosa, ocorre a presença de superfícies foscas. A porosidade é alta com poros bem distribuídos no perfil, permitindo uma boa aeração e boa permeabilidade (Silva et al. 1983; Rodrigues et al. 2003). Os Latossolos Amarelos típicos muito argilosos apresentam-se normalmente coesos, ligeiramente duro, quando seco; principalmente nos horizontes AB e BA ou mesmo no topo do B<sub>wl</sub> (EMBRAPA, 1999), características essas já observadas nesses solos em outras áreas.

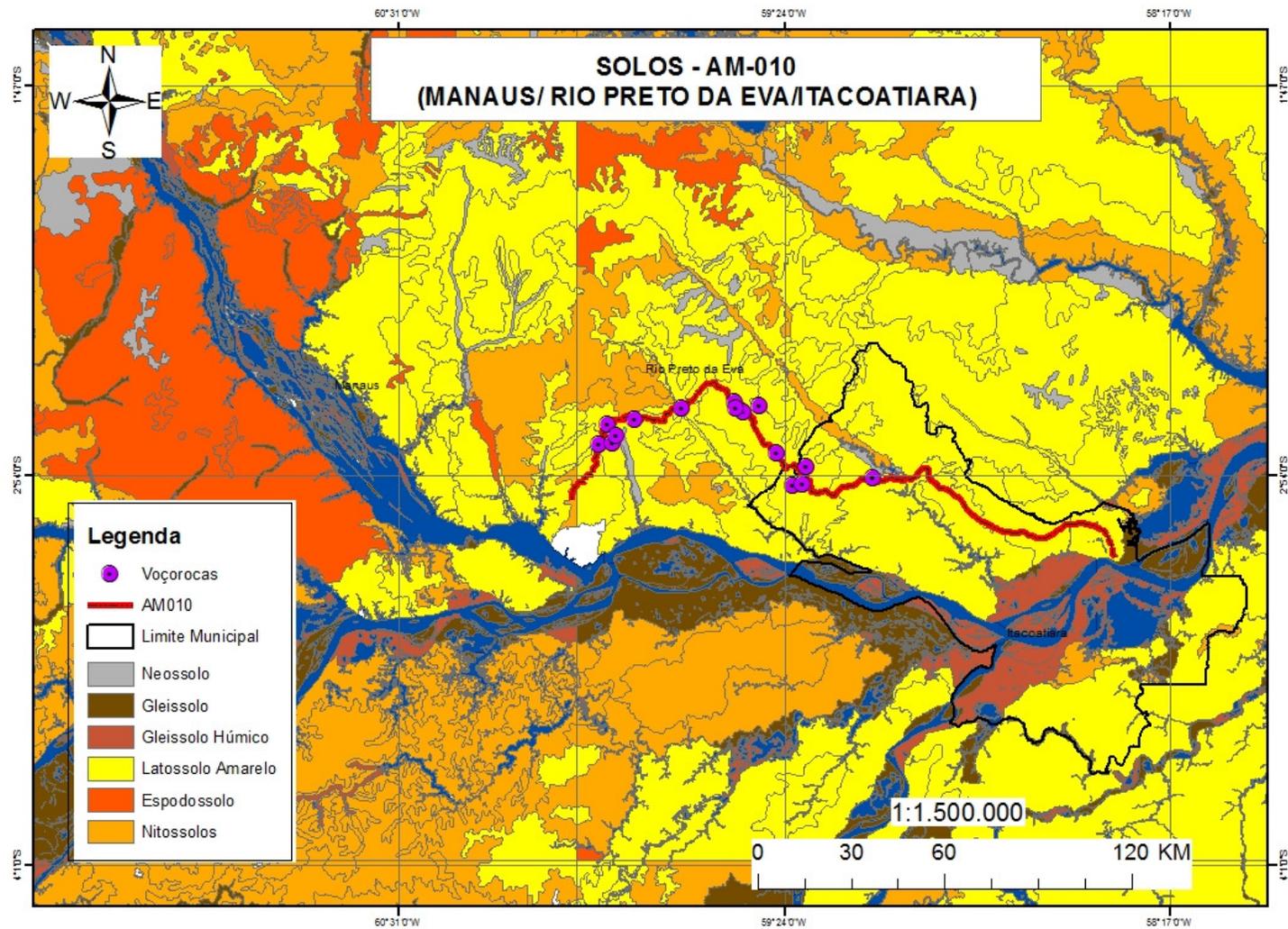


Figura 13: Mapa de solos da rodovia AM-010  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

## 2.7 Hidrografia

Devido a sua ampla extensão, o rio Amazonas é influenciado pelas variações de precipitações dos hemisférios Norte e Sul, sendo por isso conhecido pelo regime fluvial de duas cheias, fato que ajuda a tornar a Bacia Amazônica a maior do mundo, com uma área de drenagem, em território nacional, correspondente a 64% da bacia como um todo, em uma extensão que representa cerca de 40% da superfície brasileira (ANEEL, 1997). De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), a contribuição média da bacia hidrográfica do rio Amazonas, em território brasileiro, é da ordem de 133.000 m<sup>3</sup>/s.

Em função dos critérios hidrológicos, segundo Molinier et al. (1994), a bacia do rio Solimões representa 36% da área total da Bacia Amazônica continental, seguida pelas bacias dos rios Madeira, com 23% e do rio Negro, com 11% da superfície total. Nessa vasta bacia hidrográfica, os principais cursos d'água são rios transfronteiriços, ou seja, compartilhados por mais de uma nação, tais como: Solimões, Purus, Juruá e Javari (cujas nascentes estão no Peru), Negro e Japurá (nascentes na Colômbia) e Madeira (nascente na Bolívia). Em território brasileiro, os cursos d'água que banham mais de um estado são considerados rios federais, como os rios Purus (Acre e Amazonas) e Madeira (Rondônia e Amazonas).

De acordo com o mapa hidrográfico (figura 14), a rodovia AM-010 apresenta expressivo número de canais, e o rio Amazonas apresenta um dos menores declives do mundo, sendo que em seu trecho de planície, no curso inferior, a declividade média atinge 2 cm/km, o que origina um padrão de drenagem meândrico, com lagoas marginais e campos de inundação alimentados pelo extravasamento dos rios no período das cheias (CARVALHO e CUNHA, 1998). Pela mesma razão, o escoamento das águas fluviais e a propagação das cheias ocorrem lentamente.

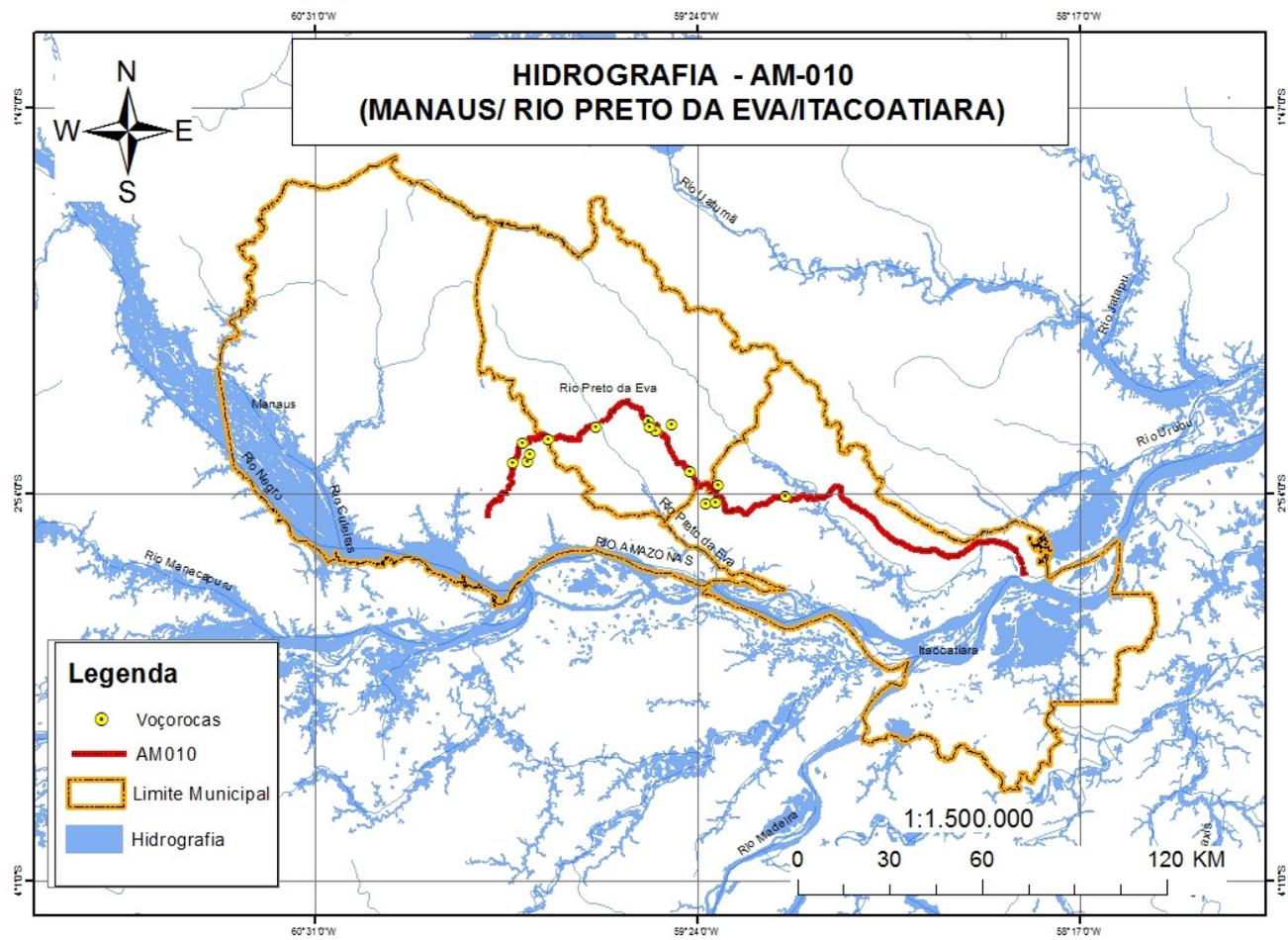


Figura 14: Mapa hidrográfico da rodovia AM-010.  
Org: Anne C. M. Dirane, 2015.

### **3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Para alcançar os objetivos, a pesquisa utilizou como método a abordagem sistêmica, que envolve gradualmente o estudo das partes para se entender o todo como um conjunto de elementos em interação. Neste sentido, fez-se necessário analisar cada variável interdependente de um sistema total.

A abordagem como um sistema é uma categoria de análise de qualquer ramo científico, que permite entender os fenômenos dentro de uma abordagem total, a inter-relação e integração de assuntos que, geralmente são de ordens distintas e natureza complexa. O fluxograma (figura 15) mostra as três etapas do trabalho: levantamento de dados, sistematização e resultados e discussões.

#### **3.1 Mapeamento e Morfometria**

A metodologia utilizada foi o mapeamento das voçorocas ao longo da rodovia AM010 com auxílio de um GPS (Garmin) identificando a coordenada geográfica e o quilometro em que se encontra.

Para coleta dos dados em campo utilizou-se uma ficha de cadastro (figura 16), contendo informações relativas a identificação da voçoroca como forma, tipo, tamanho e características específicas de cada área.

A caracterização da forma das vertentes foi composta da verificação dos seguintes aspectos: forma, declividade, cobertura vegetal, afloramento de rochas e de feições erosivas. As técnicas utilizadas foram: observações diretas, anotações em caderneta, utilização de bússola e trena, e elaboração de croqui e de perfil esquemático das vertentes a partir de fotografias.

As dimensões de cada incisão (comprimento, largura e profundidade) foram obtidas diretamente em campo através do uso de uma trena (figura 17). Com os dados de comprimento e largura foi calculada a área aproximada de cada voçoroca (comprimento x largura = área  $m^2$ ). A partir dos dados de área multiplicada pelos valores de profundidade média se estabeleceu o volume médio erodido (área x profundidade =  $m^3$ ).

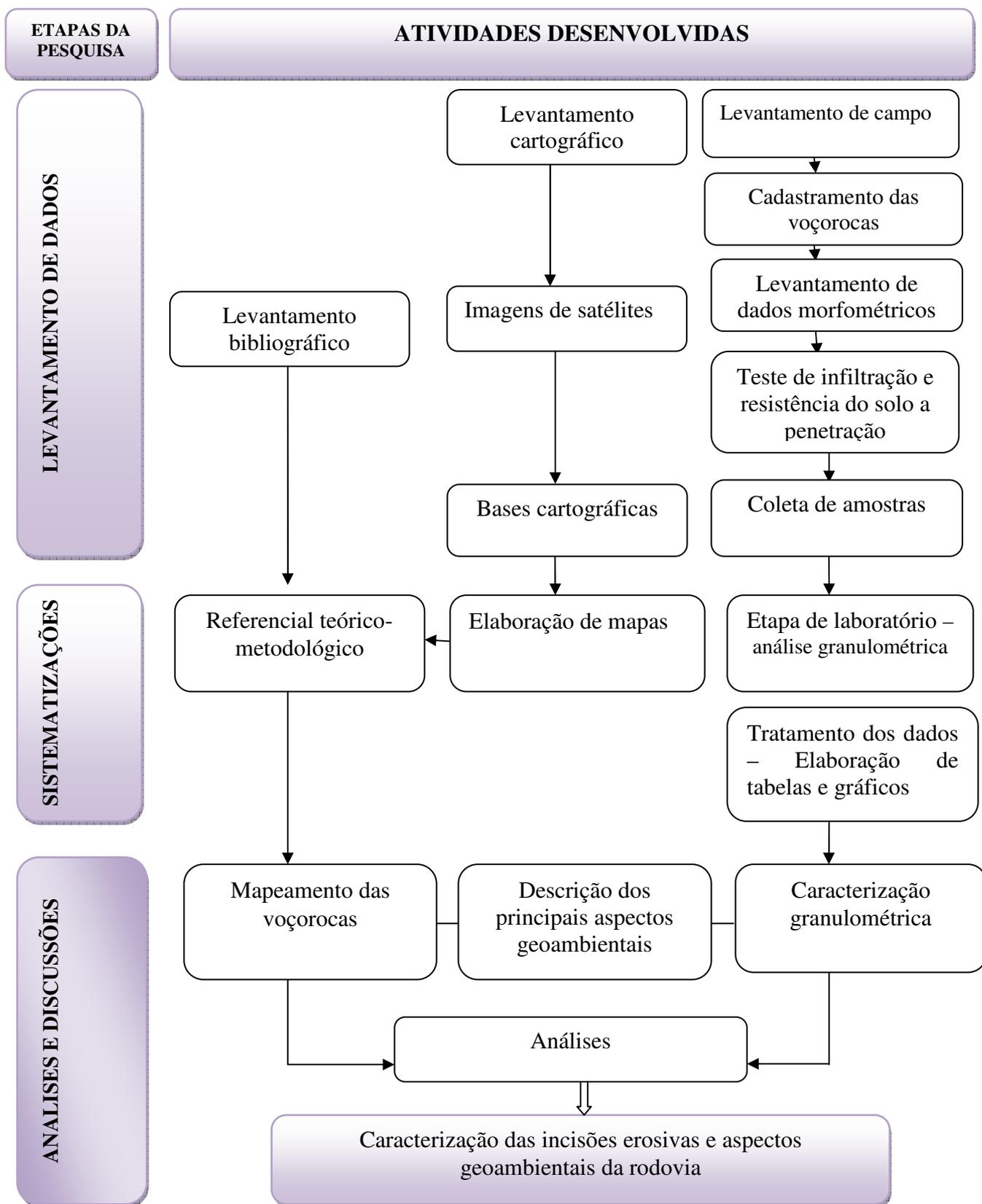


Figura 15: Fluxograma das etapas do trabalho.  
Org.: Anne C. M. Dirane, 2014.

VOÇOROCAS						
FICHA DE CADASTRAMENTO						
DATA DO 1º CADASTRAMENTO:						
1. LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA VOÇOROCA:					Nº	
ACESSO: BAIRRO:			ZONA:			
2. COORDENADAS: GPS.:						
3. DADOS DA VOÇOROCA						
DATAS DOS MONITORAMENTOS	1º cad	2º 52AD.	3º 52AD.	4º cad.	5º 52AD.	6º cad.
COMPRIMENTO (m):						
LARGURA (m):						
PROFUNDIDADE (m):						
ÁREA:	VOLUME:			DIREÇÃO:		
TIPO:	FORMA:			TAMANHO:		
DIST. DA PISTA:	EVOLUÇÃO:			ORIENT. DA PISTA:		
4. GEOLOGIA:						
5. GEOMORFOLOGIA						
<input type="checkbox"/> PLATÔ		<input type="checkbox"/> BAIXIO			<input type="checkbox"/> ENCOSTA	
CARACTERÍSTICAS DA ENCOSTA						
<input type="checkbox"/> ENCOSTA SUPERIOR <input type="checkbox"/> ENCOSTA MEDIANA <input type="checkbox"/> ENCOSTA INFERIOR						
FORMA:	COMPRIMENTO:			DECLIVIDADE:		
6. SOLO:						
<input type="checkbox"/> INALTERADO <input type="checkbox"/> ALTERADO <input type="checkbox"/> COMPACTADO <input type="checkbox"/> CROSTAS						
<input type="checkbox"/> LATOSSOLO <input type="checkbox"/> ESPODOSSOLO <input type="checkbox"/> ARGISSOLO <input type="checkbox"/> ATERRO						
7. HISTÓRICO DA OCORRÊNCIA						
8. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A MONTANTE						
9. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A JUSANTE						
10. DANOS MATERIAIS						
R\$						
11. DANOS AMBIENTAIS						
12. MEDIDA DE CONTENÇÃO ADOTADA:						
13. PREVISÃO DE EVOLUÇÃO:						
14. OBSERVAÇÕES GERAIS.:						

Figura 16: Modelo de ficha cadastral de voçorocas.  
Fonte: Vieira, 2005.



Figura 17: Coleta de dados morfométricos da voçoroca 6, km 125..  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

Os tipos de voçorocas (conectada, desconectada e integrada) foram verificados diretamente em campo pelo modelo de evolução (figura 5) de voçorocas de Oliveira (1992). A forma (figura 4) (retangular, bifurcada, ramificada, linear e irregular – também foi observada diretamente em campo e ajudou a entender a origem e até mesmo o estágio de evolução de cada incisão. A adoção de uma classificação por tipo e forma ajuda a estabelecer o estágio de evolução das voçorocas (VIEIRA, 2008).

O monitoramento das voçorocas realizados em campo possibilitará a previsão do risco das voçorocas em direção a pista, que será baseada na escala de risco erosivo (quadro 3) de Tavares e Vieira (2010).

Quadro 3: Escala de risco erosivo.

Nível	Intervalo*	Descrição	Meses
1	0 – 3	risco imediato	0 – 6
2	3 – 6	risco a curto prazo	6 – 15
3	6 – 15	risco a médio prazo	15 – 36
4	> 15	risco a longo prazo	> 36

\*Intervalo em metros

Fonte: Tavares e Vieira (2010).

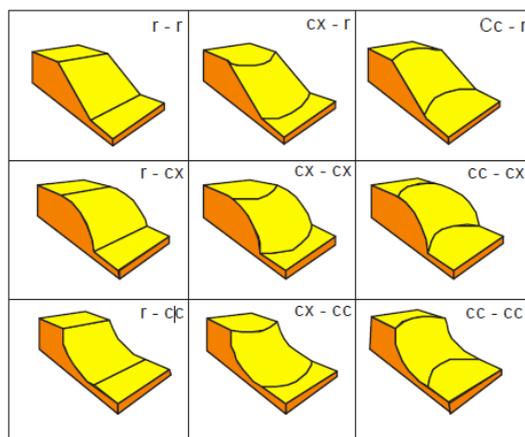
Para classificar o tamanho das incisões erosivas, será adotado o modelo (quadro 04) utilizado por Vieira e Albuquerque (2004), onde classificam cinco tamanhos de voçorocas, de acordo com o volume erodido

Quadro 4: Classificação das voçorocas por tamanho.

Classificação das voçorocas por tamanho (m <sup>3</sup> )		
Ordem	Volume Erodido	Tamanho
1	Até 999 m <sup>3</sup>	Muito pequena
2	De 1.000 m <sup>3</sup> até 9.999 m <sup>3</sup>	Pequena
3	Entre 10.000 e 19.999 m <sup>3</sup>	Média
4	Entre 20.000 e 40.000 m <sup>3</sup>	Grande
5	Mais de 40.000 m <sup>3</sup>	Muito grande

Vieira e Albuquerque (2004)

A caracterização da forma das vertentes será composta da verificação dos seguintes aspectos: tipo, declividade, cobertura vegetal, e feições erosivas. Tais observações serão feitas em campo, no cadastramento das incisões Para o tipo de vertente, será utilizado o modelo de Ruhe (1979) apud Vieira (2008) (figura 18).



Legenda

r-retilínea retilínea r-cx: retilínea convexa r-cc: retilínea concava  
 cx-r: convexa retilínea cx-cx: convexa convexa cx-cc: convexa côncava  
 Cc-r: côncava retilínea cc-cx: côncava convexa cc-cc: côncava concava

Figura 18: Diversos tipos de feições de uma vertente.

Fonte: Ruhe, 1975 modificado por Vieira, 2008.

### 3.2 Resistência a penetração

As medidas de resistência à penetração do solo foram realizadas com um penetrômetro de impacto, para saber o grau de compactação do solo, sendo montado três hastes e um peso com massa de 2 kg que é solto de uma altura de 40 cm a partir de uma base de metal.

O teste é efetuado quando se coloca uma haste metálica na posição vertical recebendo impactos de uma massa conhecida, imprimindo impactos necessários para que a haste penetre 5cm no solo (ROSS et al, 2011) (figura 19).

Os valores obtidos são tabulados para serem inseridos em um software que gera automaticamente o gráfico de resistência do solo a penetração. Às medidas de resistência foram realizadas concomitantemente com a coleta de material para umidade do solo.



Figura 19: Realização do teste do penetrômetro no km 116, na rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

O teste de resistência à penetração objetiva identificar o grau de resistência do solo a penetração a algo que tenta se mover através dele. Nesse sentido, segundo Silveira et al., (2010) a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo.

### 3.3 Capacidade de Infiltração do solo

Para se construir o gráfico de infiltração é necessário que seja medido o tempo, a cada minuto e a quantidade de água infiltrada. O teste só termina quando o valor infiltrado se repetir por pelo menos três vezes seguidas, após 20 minutos de realização do teste.

A taxa de infiltração ( $f$ ) é a razão com que a água entra na superfície de solo por unidade de tempo. As unidades mais usadas são mm/h e mm/min.

A infiltração acumulada ou total infiltrado ( $F$ ) indica o volume total infiltrado no terreno entre um tempo inicial  $t_0$  até um tempo  $t$  qualquer. As unidades mais comuns são mm/cm. De acordo com Reichardt (1990), a relação entre a taxa de infiltração e o total infiltrado é dada por:

$$F(t) = \int_{t_0}^t f(t) dt$$

Onde:

$F$  é o total infiltrado;

$f$  é a taxa de infiltração;

$t$  é o tempo.

Segundo Reichardt (1990), os infiltrômetros são aparelhos para determinar diretamente a capacidade de infiltração do solo, tubos ou qualquer outro limite projetado para isolar uma seção do solo. Geralmente, são formados por dois cilindros concêntricos

(30 e 60 cm de diâmetro, aproximadamente), cravados no solo e cheios de água para proceder ao teste de infiltração.

O infiltrômetro Turf-Tec (figura 20) é constituído por uma construção robusta, totalmente soldado de zinco e chapeado, com apertos de punho, anel duplo de lâminas endurecidas, anel interno e externo, relógio temporizador e escala do nível de água em polegadas, centímetros e milímetros. A manutenção de registros das leituras desse aparelho auxilia e avalia a velocidade e a infiltração acumulada pelo tempo.



Figura 20: Infiltrômetro utilizado nos testes para absorção de água no solo.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

O procedimento consistiu no preenchimento dos anéis (externo e interno). Com o auxílio de uma proveta de 1000 ml de água, foi possível mensurar o volume de água utilizada (em cada cilindro). Em seguida, foi despejada água no cilindro externo permitindo-lhe transbordar até preencher o cilindro interno até a sua superfície. Durante o uso, apenas o cilindro interno foi medido.

Logo após o preenchimento dos anéis, fez-se necessário verificar a leitura da lâmina (altura infiltrada cm). Na sequência, iniciou-se a cronometragem, anotando-se o valor infiltrado a cada 1 min até que o valor infiltrado se repetisse três vezes consecutivas (mínimo de 20 minutos de leitura). Sendo assim, Brandão et al. (2003) esclarece que a velocidade de infiltração é considerada constante.

### **3.4 Características do solo**

A descrição morfológica do solo (cor, espessura, textura, estrutura e consistência) será realizada em campo. As amostras coletadas foram analisadas conforme método da

EMBRAPA (1999) para descrição da granulometria, densidade real, densidade aparente e porosidade total, atividade a ser realizada no Laboratório de Análises e Tratamento de Sedimentos e Solos, do Departamento de Geografia da UFAM.

### 3.4.1 Granulometria

Segundo Lepsch (2011) a análise física contribui para a verificação granulométrica, separação do teor de areia, silte, argila e densidade real e aparente do solo. A análise física ocorreu depois do solo coletado ser secado ao ar, e posteriormente destorroado e peneirado em uma peneira de 2mm.

Por meio da análise granulométrica do solo foi possível quantificar a porcentagem das frações texturais das sete amostras coletas para este trabalho. A identificação da classe textural do solo (figura 20) é de extrema importância, pois está relacionada as suas propriedades físicas, que por sua vez, tem relação com a susceptibilidade do solo a processos de erosão.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e Solos - LATOSSOLO, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, pelo método da pipeta, descrito pela EMBRAPA (1997). A classe textural, foi obtida através dos resultados das frações granulométricas, aplicadas ao Triângulo Americano do U.S. DEPT. AGRICULTURE (figura 21).

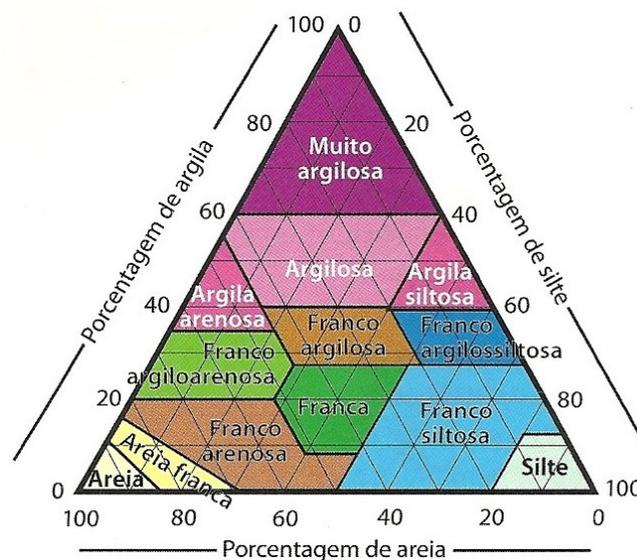


Figura 21: Pirâmide Textural  
Fonte: Lesph, 2010.

### 3.4.2 Caracterização Geoambiental

. O solo foi o elemento que serviu de base para a caracterização geoambiental ao longo da rodovia, uma vez que é formado pela integração da vegetação, relevo e clima , dessa forma, é um bom elemento para classificar um Geoambiente (LEPSCH, 2012).

A descrição dos aspectos como a geologia, geomorfologia, vegetação e solos foram descritos com base no RADAMBRASIL (1982), IBGE (2007, 2009 e 2012), literaturas e artigos pertinentes a área e trabalhos de campo (1 cadastramento e 2 monitoramentos). O solo recebeu destaque na descrição de campo em função da sua relação direta com os processos erosivos e análises das voçorocas.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Mapeamento das incisões erosivas

Ao longo da rodovia AM-010 foram realizados três campos, o primeiro de cadastramento e dois de monitoramentos. A figura 22 mostra a área de estudo e a localização das voçorocas distribuídas ao longo da rodovia.

O quadro 5 mostra os dados de localização das incisões erosivas, as coordenadas geográficas e o km de cada uma, além de evidenciar parâmetros de identificação, dados morfométricos do cadastramento e a orientação da voçoroca em relação á pista.

Quadro 5: Localização e parâmetros de identificação das voçorocas mapeadas ao longo da rodovia AM-010.

Voçoroca	KM	Coordenada geográfica	Tipo	Forma	Área de contribuição	Orientação
1	46	S 02°46'03,5" e W 059°55'19,5"	Conectada	Bifurcada	6,57	NE/SO
2	46	S 02°46'03,5" e W 059°55'19,5"	Conectada	Retangular	41,1	NE/SO
3	104	S 02°41'14,1" e W 059°32'21,7"	Conectada	Bifurcada	17,7	NE/SO
4	104	S 02°41'14,6" e W 059°32'22,8"	Conectada	Retangular	11,35	NE/SO
5	116	S 02°48'32,5" e W 059°34'45,3"	Conectada	Irregular	16,1	SE/NO
6	125	S 02°5'02,5" e W 059°25'06,8"	Conectada	Retangular	9,6	NO/SE
7	135	S 02°55'34,4" e W 059°21'52,2"	Integrada	Irregular	2,6	NO/SE
8	135,6	S 02°52'46,6" e W 059°21'40,8"	Conectada	Linear	2,1	NO/SE
9	136	S 02°52'54,5" e W 059°21'32,5"	Desconectada	Ramificada	14,9	NO/SE
10	136	S 02°52'54,5" e W 059°21'32,5"	Desconectada	Ramificada	23,0	N/S
11	136	S 02°52'54,5" e W 059°21'32,5"	Desconectada	Retangular	22,0	NE/SO
12	136	S 02°52'54,5" e W 059°21'32,5"	Conectada	Bifurcada	17,0	NE/SO
13	136	S 02°52'55,1" e W 059°21'34,2"	Conectada	Bifurcada	9,9	NE/SO
14	137	S 02°52'54,5" e W 059°21'32,5"	Desconectada	Retangular	11,3	NE/SO
15	137	S 02°52'55,1" e W 059°21'34,2"	Conectada	Bifurcada	14,9	NE/SO

Fonte: Anne C.M. Dirane, 2015.

# Voçorocas AM-010

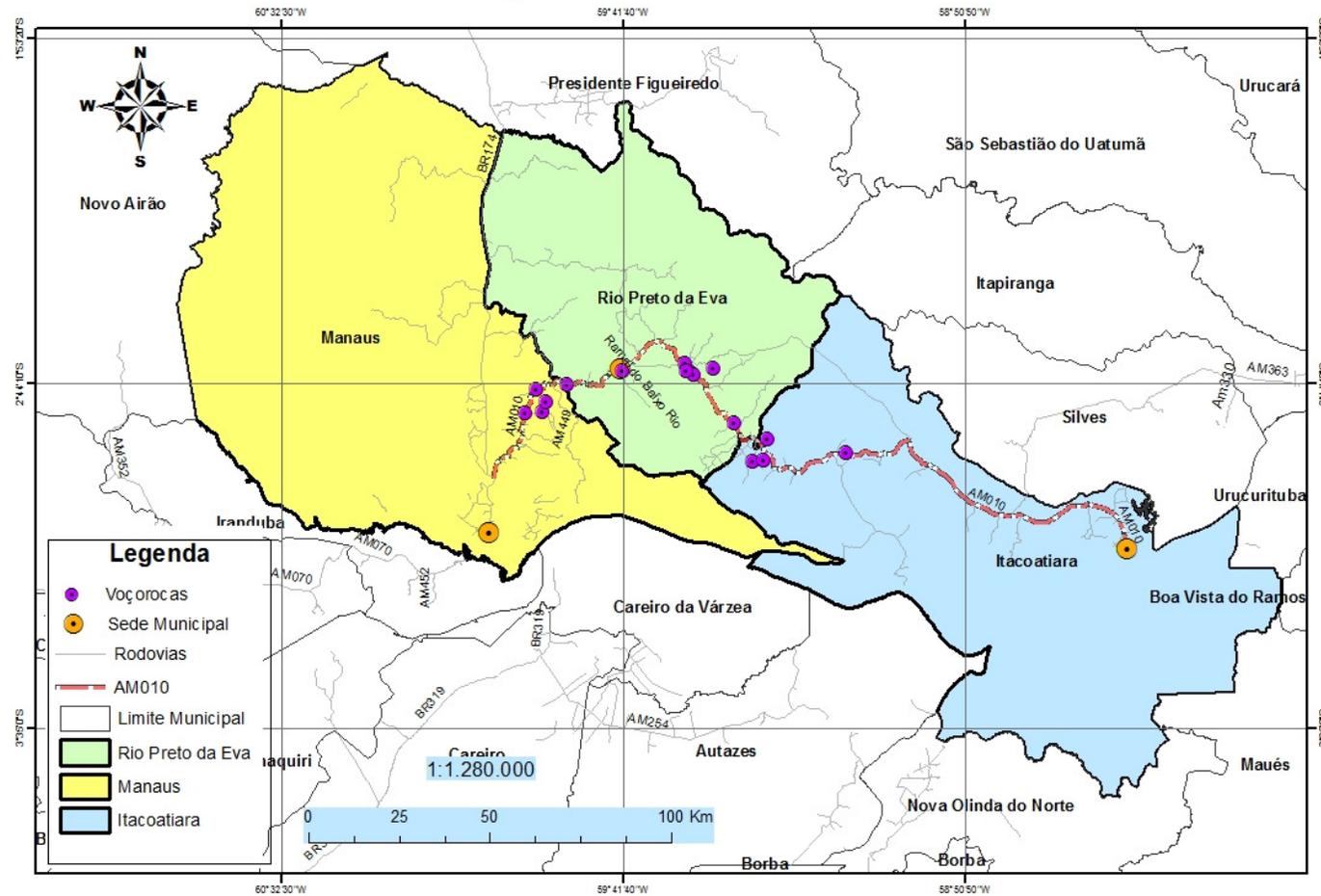


Figura 22: Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca na rodovia AM-010.  
Org.: Anne C. M. Dirane, 2015.

O primeiro campo ocorreu no dia 08/12/2012, onde foram mapeadas 12 voçorocas e 3 ravinas, com indicações de evolução para voçoroca. Ao longo da rodovia AM-010 as primeiras voçorocas se encontram no km 45, na margem direita, no sentido Manaus - Rio Preto da Eva. As treze outras incisões foram mapeadas do km 104 ao km 137 (quadro 6).

A voçoroca com maior comprimento foi encontrada no km 135, com 183m, e a de maior largura no km 104 a com 49m e a de maior profundidade no km 125 com 9m. As voçorocas 1 e 2 surgiram em decorrência da canaleta (figura 23) ao longo da rodovia, favorecidas pelo escoamento superficial concentrado. A voçoroca de número 7, localizada no km 135 é a maior em termos de área, com 2287,5 m<sup>2</sup> e a maior também em termos de volume erodido (16012m<sup>3</sup>). A menor incisão, tanto em área quanto em volume erodido, foi a voçoroca numero 13, com 47,25m<sup>2</sup> e 132,3m<sup>3</sup>, respectivamente).

Quadro 6: Dados morfométricos das vocorocas cadastradas.

Cadastramento - 08/12/2012					
Voçoroca	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )
1	18,2	20,0	7,2	364,0	2620,8
2	23,2	7,0	6,4	162,6	1040,7
3	29,0	23,1	4,1	669,9	2746,5
4	17,7	5,5	6,0	97,35	584,1
5	16,6	14,0	2,5	232,4	581,0
6	16,0	7,0	9,0	112,0	1008,0
7	183,0	12,5	7,0	2287,5	16012,5
8	129,0	2,0	1,9	258,0	490,2
9	26,5	49,0	4,5	1298,5	5843,2
10	RAVINA				
11	RAVINA				
12	RAVINA				
13	22,5	2,1	2,8	47,2	132,3
14	23,2	21,4	1,7	496,4	844,0
15	50,1	2,2	1,8	110,2	198,3
TOTAL	550,0	165,8	54,9	6136,2	32101,6
MÉDIO	46,2	13,8	4,5	511,3	2675,1
MÁXIMO	183,0	23,1	9,0	2287,5	16012,5
MÍNIMO	16,0	2,0	1,7	47,2	132,3

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Figura 23: Canaletas ao longo da rodovia Am-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

Quadro 7: Dados do 1º monitoramento das voçorocas da AM-010.

Monitoramento - 07/06/2013					
Voçoroca	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )
1	23,7	21,3	7,5	504,8	3786,0
2	24,7	7,0	6,4	172,9	1106,5
3	20,1	23,5	5,1	472,3	2432,6
4	18,0	6,0	6,0	108,0	648,0
5	16,6	14,0	3,0	232,4	697,2
6	24,0	8,0	9,0	192,0	1728,0
7	227,0	12,5	7,0	2837,5	19862,5
8	138,0	2,8	2,2	386,4	850,0
9	26,5	49,0	5,8	1298,5	7531,3
10	4,2	6,2	6,9	26,0	179,6
11	25,3	3,4	3,1	86,0	266,6
12	28,0	6,5	3,6	182,0	655,2
13	39,2	2,3	3,8	90,1	342,6
14	28,3	23,5	6,6	665,0	4389,3
15	51,0	2,5	2,0	127,5	255,0
<b>TOTAL</b>	694,6	188,5	78,9	7381,4	44730,
<b>MÉDIA</b>	46,30	12,5	5,2	492,0	2982,0
<b>MÁXIMO</b>	227,0	23,5	9,0	2837,5	19862,5
<b>MÍNIMO</b>	4,2	2,3	2,0	90,1	255,0

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O segundo campo, ocorreu no dia 07/06/2013, onde foram inseridas mais três incisões, resultantes da transformação das três ravinas encontradas anteriormente e que

neste levantamento já se configuravam como voçorocas. A maior voçoroca, por conta do volume erodido continua sendo a voçoroca 7 ( 19862,5 m<sup>3</sup>) e a menor incisão é a 15 (255m<sup>3</sup>). Foi observado o crescimento de todas as incisões, o que nos permitiu fazer a análise da previsão de risco.

Quadro 8: Dados do 2º monitoramento das voçorocas da rodovia AM-010.

Monitoramento - 05/09/2013					
<b>Voçoroca</b>	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )
1	25,2	21,3	7,5	536,7	4025,7
2	24,7	9,0	6,7	222,3	1489,1
3	30,4	24,0	6,1	730,8	4494,4
4	18,5	6,0	6,5	111,3	723,4
5	17,0	14,0	3,0	238,0	714,0
6	26,9	9,0	9,0	242,1	2178,9
7	227,5	12,5	7,0	2843,7	19906,2
8	138,0	2,8	2,2	386,4	850,0
9	26,8	49	5,8	1313,2	7616,5
10	26,0	7,9	6,9	205,4	1417,2
11	40,0	4,8	3,8	192,0	729,6
12	40,6	7,1	6,2	288,2	1787,2
13	53,2	2,5	4,0	133,0	532,0
14	30,0	24,0	7,8	720,0	5616,0
15	53,2	2,5	2,0	133,0	266,0
<b>TOTAL</b>	778,0	196,4	84,5	8296,2	52346,2
<b>MÉDIA</b>	51,8	13,0	5,6	553,0	3489,7
<b>MÁXIMO</b>	227,5	24,0	9,0	2843,7	19906,2
<b>MÍNIMO</b>	17,0	2,5	2,0	133,0	266,0

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O ultimo monitoramento, realizado no dia 05/09/2013 denunciou que as voçorocas encontram-se ativas, perdendo sedimentos. As medidas de comprimento, largura e profundidade aumentaram para a maioria das voçorocas.

O gráfico 1 mostra o comprimento das voçorocas nos três monitoramentos, evidenciando o crescimento de seu comprimento, principalmente nas voçorocas 07, 10, 11, 12 e 13, onde a área de contribuição é maior, propiciando um maior escoamento superficial, concentrando o fluxo diretamente para as cabeceiras das incisões.

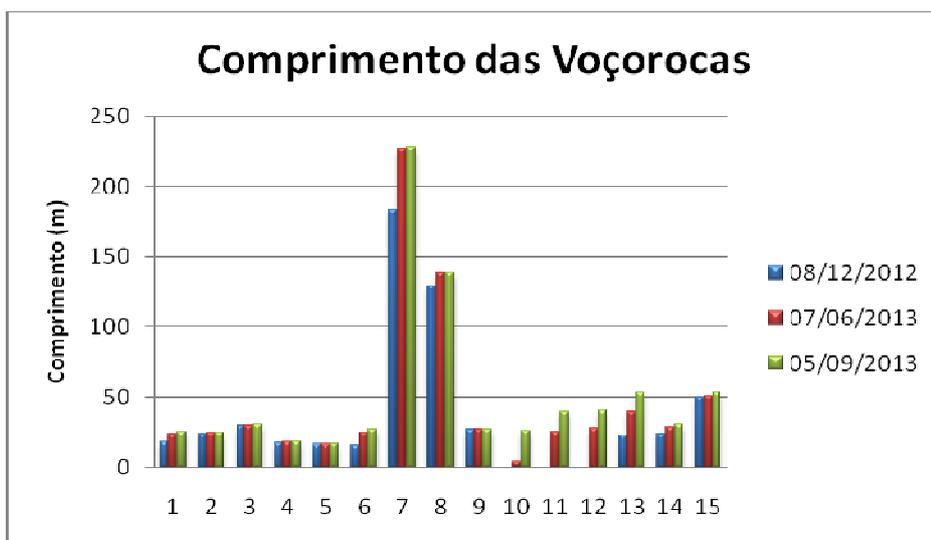


Gráfico 1: Comprimento das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

No que diz respeito a largura das voçorocas, o gráfico (2) mostra que não houve muita diferença na largura das incisões. As que mais apresentaram diferença em sua dimensão foram as voçorocas 06, 10, 11 e 14. A diferença é percebida nos dois primeiros monitoramentos, no terceiro monitoramento não se percebe grande alteração.

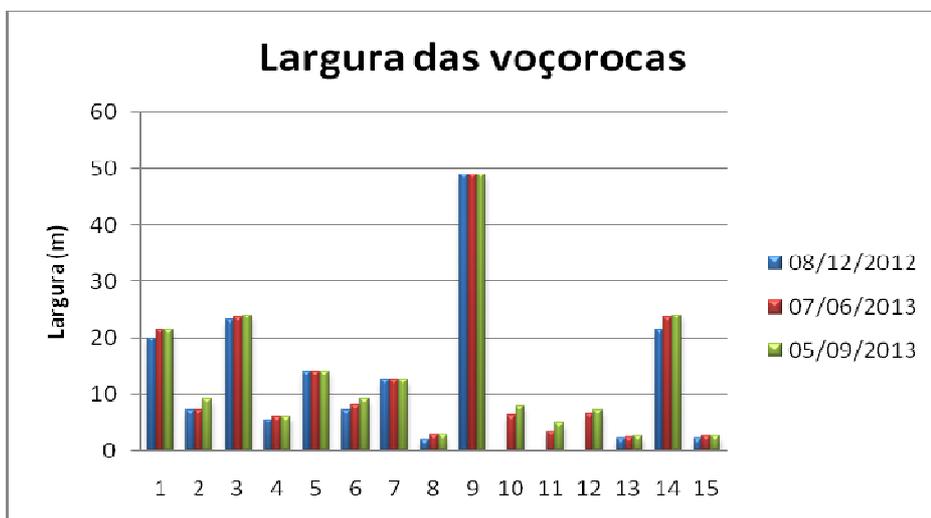


Gráfico 2: Largura das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015

O gráfico 3 mostra a profundidade das incisões, a voçoroca 03 foi a que mais perdeu sedimentos, seguida da voçoroca 11, 12, 13 e 14. A voçoroca 11 e 12 tiveram sua origem a

partir de ravinas, sua evolução para voçoroca aconteceu de forma rápida, perdendo mais sedimentos que as demais incisões.

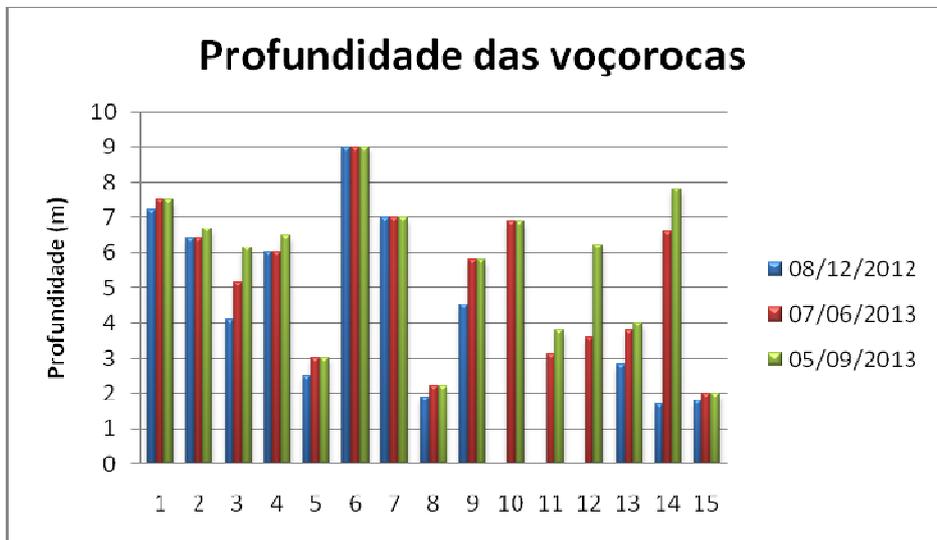


Gráfico 3: Profundidade das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

#### 4.2 Perfil das voçorocas localizadas na AM-010

Voçoroca	1
Km	46
Tipo	Conectada
Forma	Bifurcada
Relevo	Convexo
Tamanho	Pequena
Orientação	SW/NE
Risco	Longo praxo



Figura 24: Voçoroca 1, localizada no km 46 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Direção da rodovia



Direção da voçoroca em relação a pista

Voçoroca	2
Km	46
Tipo	Conectada
Forma	Retangular
Relevo	Convexo
Tamanho	Pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo



Figura 25: Voçoroca 2, localizada no km 46 da rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca	3
Km	104
Tipo	Conectada
Forma	Bifurcada
Relevo	Côncavo
Tamanho	Pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo



Figura 26: Voçoroca 3, localizada no km 104 da rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca	4
Km	104
Tipo	Conectada
Forma	Retangular
Relevo	Côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo

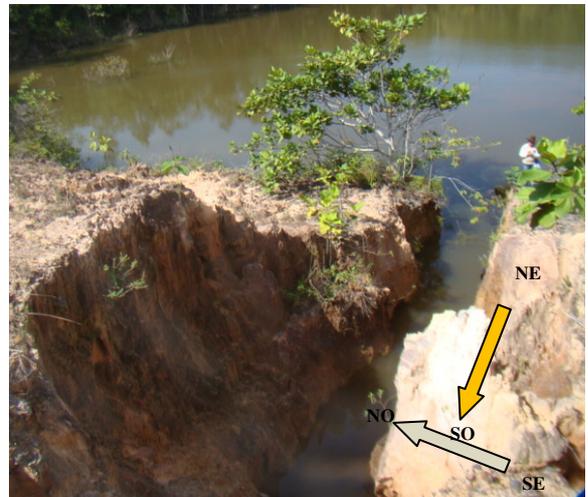
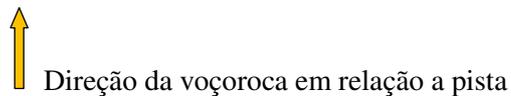
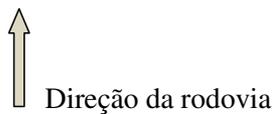


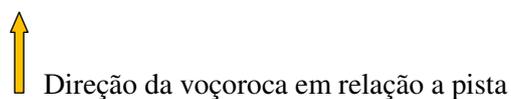
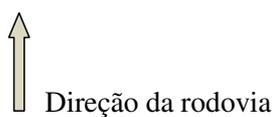
Figura 27: Voçoroca 4, localizada no km 104 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca	5
Km	116
Tipo	Conectada
Forma	Irregular
Relevo	Retilíneo-convexo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	SE/NO
Risco	Longo prazo



Figura 28: Voçoroca 5, localizada no km 116 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca	6
Km	125
Tipo	Conectada
Forma	Retangular
Relevo	Retilíneo-convexo
Tamanho	Pequena
Orientação	NO/SE
Risco	Longo prazo



Figura 29: Voçoroca 6, localizada no km 125 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca	7
Km	135
Tipo	Integrada
Forma	Irregular
Relevo	Retilíneo-convexo
Tamanho	Média
Orientação	NO/SE
Risco	Longo prazo



Figura 30: Voçoroca 7, localizada no km 135 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

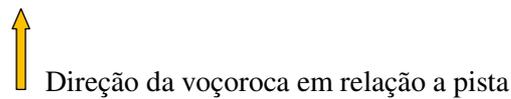
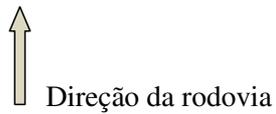


Voçoroca 8

Km	135,5
Tipo	Conectada
Forma	Linear
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NO/SE
Risco	Longo



Figura 31: Voçoroca 8, localizada no km 135,5 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca 9

Km	136
Tipo	Desconectada
Forma	Ramificada
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Pequena
Orientação	NO/SE
Risco	Longo prazo

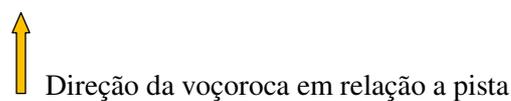
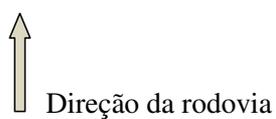
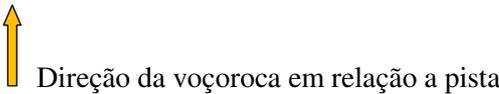
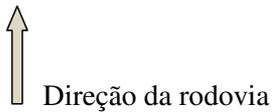


Figura 32: Voçoroca 9, localizada no km 136 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

Voçoroca	10
Km	136
Tipo	Desconectada
Forma	Ramificada
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	N/S
Risco	Longo prazo



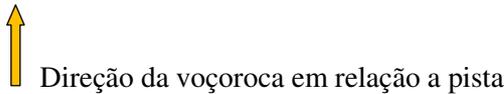
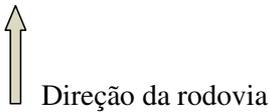
Figura 33: Voçoroca 10, localizada no km 136 da rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca	11
Km	136
Tipo	Desconectada
Forma	Retangular
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo



Figura 34: Voçoroca 11, localizada no km 136 da rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Voçoroca 12

Km	136
Tipo	Conectada
Forma	Bifurcada
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo



Figura 35: Voçoroca 12, localizada no km 136 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Direção da rodovia



Direção da voçoroca em relação a pista

Voçoroca 13

Km	136
Tipo	Conectada
Forma	Bifurcada
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo



Figura 36: Voçoroca 13, localizada no km 136 da rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Direção da rodovia



Direção da voçoroca em relação a pista

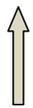
Voçoroca 14

Km	137
Tipo	Desconectada
Forma	Retangular
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NE/SO
Risco	Longo prazo



Figura 37: Voçoroca 14, localizada no km 137 da rodovia AM-010.

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Direção da rodovia



Direção da voçoroca em relação a pista

Voçoroca 15

Km	137
Tipo	Conectada
Forma	Bifurcada
Relevo	Retilíneo-côncavo
Tamanho	Muito pequena
Orientação	NO/SE
Risco	Longo prazo



Figura 38: Voçoroca 15, localizada no km 137 da rodovia AM-010.

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.



Direção da rodovia



Direção da voçoroca em relação a pista

No que diz respeito a forma das voçorocas, de acordo com o gráfico 01, 34% das voçorocas(n=5), correspondem a forma retangular, forma que denuncia o estágio bem avançado de erosão; 33% (n=5) são do tipo bifurcada, possuem duas cabeceiras, evidenciam que a voçoroca está ativa e que pode facilmente evoluir para a forma retangular; 13% das incisões (n=2), o que corresponde a voçorocas irregular, 13% (n=2) denunciam a incisão e 7%(n=1) corresponde a voçoroca linear, com maior comprimento, porém, pouco volume erodido.

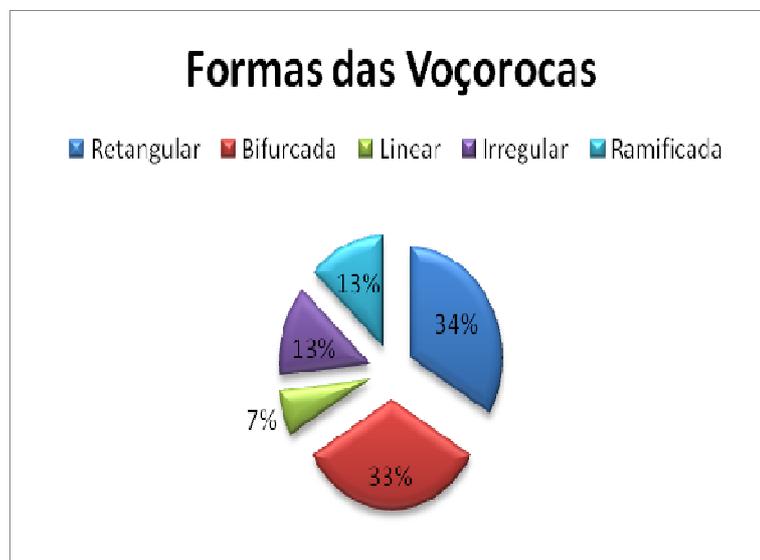


Gráfico 4: Forma das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015

O gráfico 5 revela que 67% (n=10) das voçorocas são do tipo conectadas e, portanto, estão ligadas ao canal de drenagem. Essa característica permite que os mecanismos que atuam para o processo erosivo sejam frequentes nessas incisões. Um grupo de 27% (n=4) são do tipo desconectadas, ou seja, não tem ligação com a rede de drenagem. O menor grupo representa apenas 6% (n=1) e são classificadas como do tipo integrada. Este tipo, representa o estágio mais avançado de evolução da incisão e podem ser resultante da ligação entre os dois tipos de voçorocas descritas anteriormente, formando uma só incisão.



Gráfico 5: Tipo das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015

Para determinar o tamanho das voçorocas, o parâmetro utilizado foi o volume erodido, mesmo com os dados morfométricos, como comprimento e largura com alto valor, 60% das incisões são consideradas muito pequenas, pois o volume erodido não ultrapassa 999 m<sup>3</sup>, o que corresponde a 9 voçorocas, 33% são pequenas, com volume erodido entre 1.000 m<sup>3</sup> até 9.999 m<sup>3</sup>, totalizando 5 voçorocas, e 7%, o que representa 1 incisão é média, com volume erodido entre 10.000 e 19.999 m<sup>3</sup> (gráfico 6).

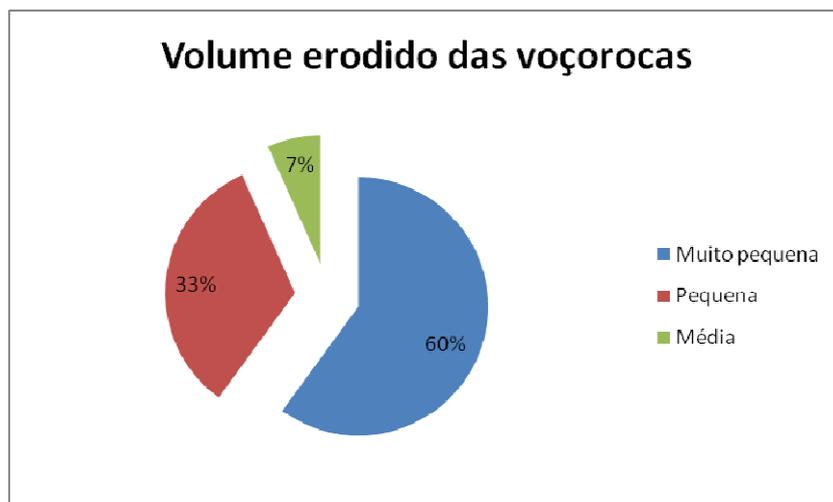


Gráfico 6: Volume erodido das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015

Quadro 9: Dados de área e volume erodido no monitoramento das voçorocas localizadas na AM-010.

1° Cadastramento			2° Monitoramento		3° Monitoramento	
Voçoroca	Área (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )
<b>1</b>	364,0	2620,8	504,8	3786,0	536,7	4025,7
<b>2</b>	162,6	1040,7	172,9	1106,5	222,3	1489,4
<b>3</b>	669,9	2746,5	683,8	3521,8	730,8	4494,4
<b>4</b>	97,3	584,1	108,0	648,0	111,3	723,4
<b>5</b>	232,4	581,0	232,4	697,2	238,0	714,0
<b>6</b>	112,0	1008,0	192,0	1728,0	242,1	2178,9
<b>7</b>	2287,5	16012,5	2837,5	19862,5	2837,5	19862,5
<b>8</b>	258,0	490,2	386,4	850,0	386,4	463,6
<b>9</b>	1298,5	5843,2	1298,5	7531,3	1298,5	7531,3
<b>10</b>	Ravina		26,0	179,6	109,2	753,4
<b>11</b>			86,0	266,6	86,02	266,6
<b>12</b>			182,0	655,2	182,0	655,2
<b>13</b>	47,2	132,3	90,1	342,6	69,4	260,4
<b>14</b>	496,4	844,0	665,0	4389,3	144,0	547,2
<b>15</b>	110,2	198,3	127,5	255,0	133,0	266,0

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O mapa de orientação das vertentes (figura 39) indica que as voçorocas estão localizadas em vertentes com orientação para o sudeste (SE), para o sul (S) e para o nordeste (NE) e o sentido de crescimento das incisões em grande parte das voçorocas cadastradas mostram a orientação de NO/SE.

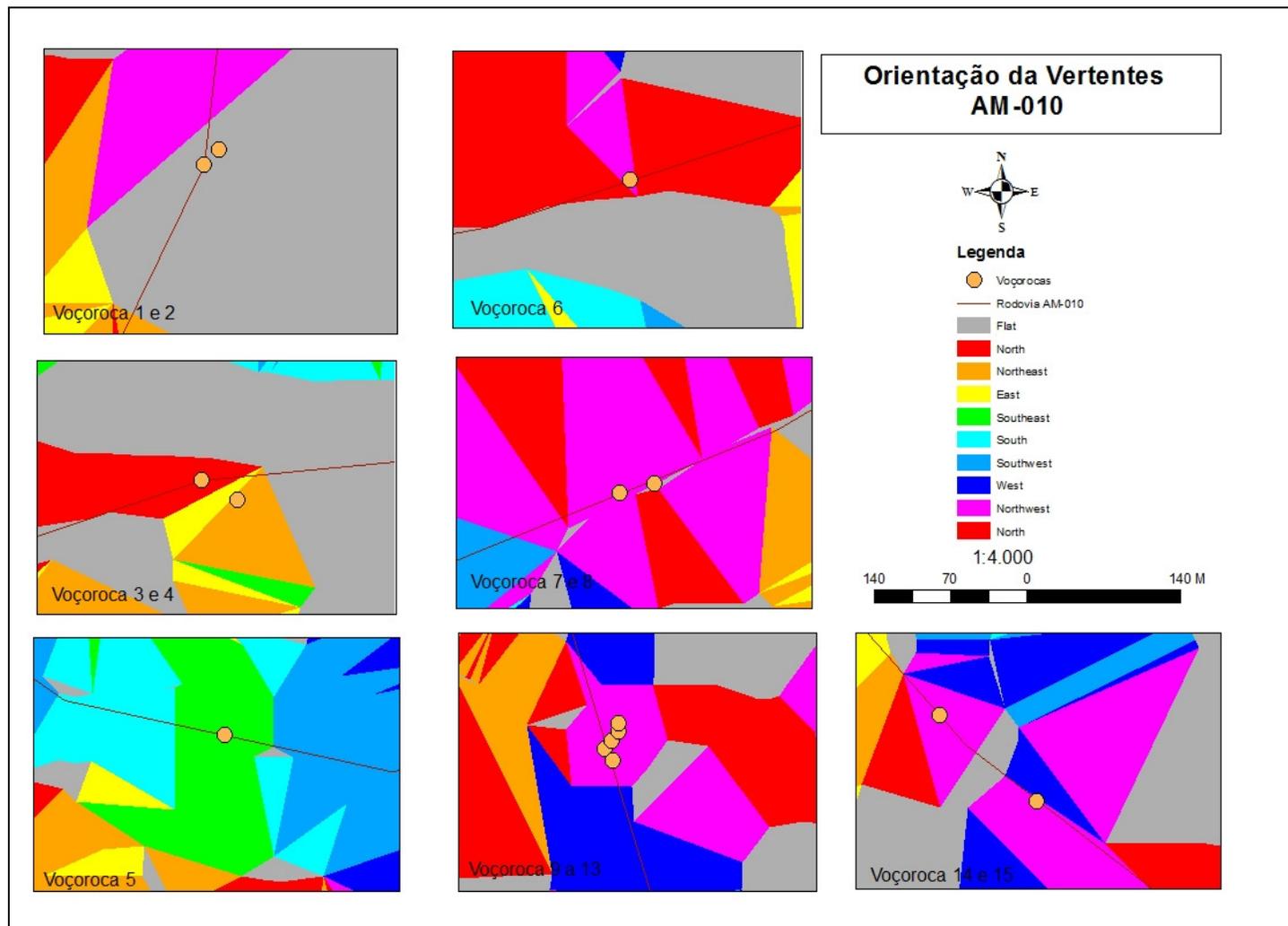


Figura 39: Orientação das vertentes da rodovia AM-010.  
Org.: Anne Dirane, 2013.

### 4.3 Previsão de Risco

O quadro 10 mostra os dados referentes à distância de cada voçoroca para a pista, com o intuito de fazer a previsão de risco das voçorocas em relação à rodovia. Foram realizados três monitoramentos em um intervalo de 11 meses, os dados coletados se aplicam ao quadro de previsão de risco desenvolvido por Tavares e Vieira (2010).

Todas as incisões apresentam risco em longo prazo, sendo a incisão 8 a que mais se aproxima da pista (2 m) e a incisão 2 a mais distante (40,3 m). O cálculo para a previsão de risco das voçorocas se dá pelo crescimento da voçoroca no período, dividido pelo tempo decorrido. O resultado final, refere-se a taxa de crescimento da incisão por mês (média). Assim, dividi-se a distância da pista verificada no último monitoramento pela taxa de crescimento e o resultado apresentado será relativo ao número de meses necessários para a incisão atingir a pista. Verifica-se assim, na tabela de risco erosivo de Tavares e Vieira (2010) a previsão de risco correspondente.

Quadro 10: Distância da pista, taxa de crescimento e previsão de risco das voçorocas localizadas na rodovia AM-010.

Voçoroca	08/10/2012	07/06/2013	05/09/2013	Crescimento da voçoroca no período (m)	Taxa de crescimento m/mês	Risco
	Distância da pista (m)					
1	6,57	5,5	4,3	2,27	0,21	Risco a longo prazo
2	41,1	40,3	40,3	0,8	0,07	Risco a longo prazo
3	17,7	17,5	17,5	0,2	0,02	Risco a longo prazo
4	11,35	11	10,9	0,45	0,04	Risco a longo prazo
5	16,1	16	16	0,1	0,01	Risco a longo prazo
6	9,6	8,3	8	1,6	0,15	Risco a longo prazo
7	2,6	2,3	2,2	0,4	0,04	Risco a longo prazo
8	2,1	2	2	0,1	0,01	Risco a longo prazo
9	14,9	7,8	7	7,9	0,72	Risco a longo prazo
10	23	19	17	6	0,55	Risco a longo prazo
11	9	9	8,7	0,3	0,03	Risco a longo prazo
12	11,3	6,6	5	6,3	0,57	Risco a longo prazo
13	14,9	14,3	14	0,9	0,08	Risco a longo prazo
14	16,9	16	16	0,9	0,08	Risco a longo prazo
15	13,5	13	13	0,5	0,05	Risco a longo prazo

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

#### 4.4 Capacidade de infiltração de água

Foram realizados 7 testes de infiltração, como mostram os gráficos a seguir. O Gráfico 7 mostra a taxa de infiltração da voçoroca 1 e 2, localizadas no km 46, o teste foi realizado em superfície não compacta e com presença de vegetação herbácea (gramíneas), com infiltração inicial de 23 mm/min, revelando que nos primeiros 5 minutos a infiltração é bastante elevada, a infiltração média foi de 9,91 mm/min, contudo a partir disso verifica-se a diminuição da taxa com sua consequente estabilização por volta do minuto 21. A considerar que o teste de infiltração apresenta uma duração de 24 minutos e com uma taxa máxima de infiltração de 23 mm/min., que correspondem com o Latossolo rico em argila, típico região e a taxa mínima de infiltração foi de 6,58 mm/min.

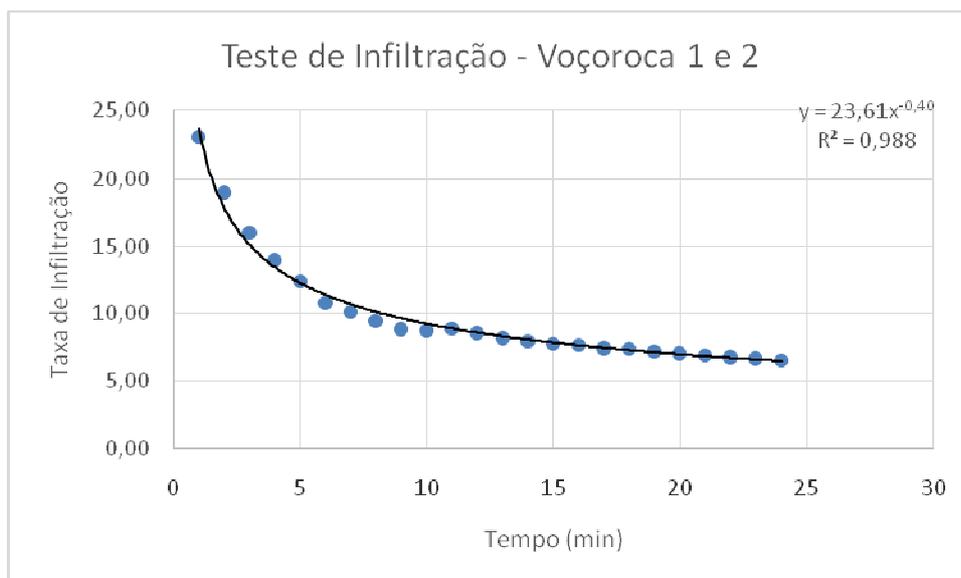


Gráfico 7: Taxa de infiltração realizada na voçoroca 1 e 2.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O teste infiltração 2 foi realizado nas proximidades das voçorocas 3 e 4, localizado no km 105, em uma superfície pouco compactada, com presença de vegetação (gráfico 8).

Nos primeiros 3 minutos a taxa de infiltração é bastante elevada, tendo seu pico no primeiro minuto, tendo um taxa de infiltração de 28 mm/min., a partir disso verifica-se a diminuição da taxa com sua consequente estabilização por volta do minuto 24. A considerar que o teste de infiltração apresenta uma duração de 27 minutos, logo o solo não

leva muito tempo para alcançar a saturação, confirmando as características de solos ricos em argilas, como o Latossolo, encontrado na AM-010. A taxa média de infiltração foi de 11,32 mm/min., e a taxa final de 8,35 mm/min.

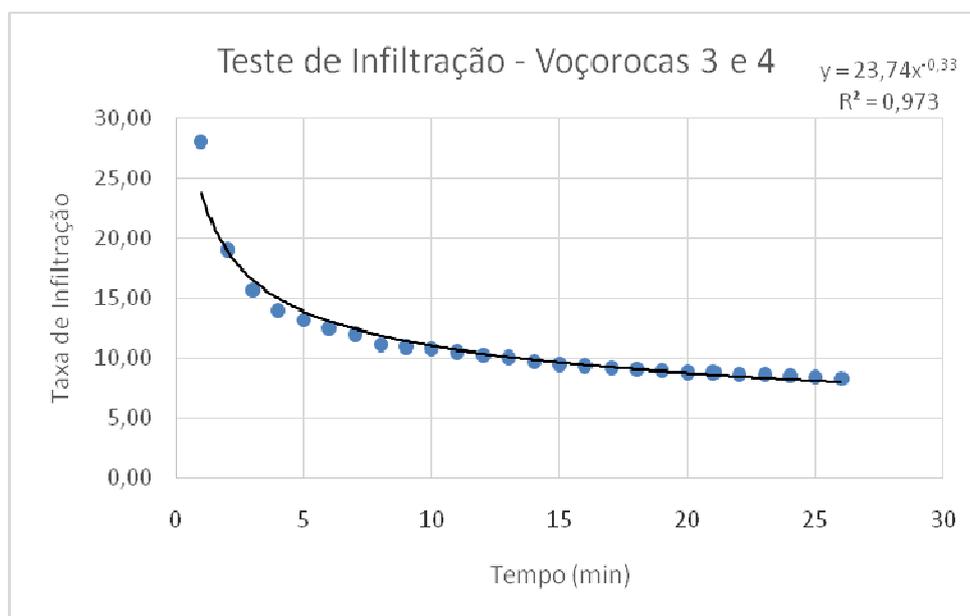


Gráfico 8: Taxa de infiltração realizada na voçoroca 3 e 4.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

No Km 126, próximo as voçorocas 5 e 6, foi realizado no teste de infiltração 3 (gráfico 9), localizado no topo da vertente, apresentando uma topografia irregular, com cobertura vegetação do tipo gramíneas. Apresentando taxa de infiltração acelerada nos primeiros minutos, e decrescendo a partir do sexto minuto, até aproximadamente 26 minutos onde alcança estabilidade. A taxa de infiltração inicial é baixa apresentando 9 mm/min. Podendo apresentar relação com a microtopografia acidentada no local do teste, além disso a duração do teste é influenciada pelo tipo de solo que se encontra em grande parte da estrada. A taxa média de infiltração ficou em 5,96 mm/min. e a taxa final de 5,55 mm/min.

Assim, a baixa capacidade de infiltração que o solo apresenta facilita o escoamento, seja em lençol quanto concentrado (Hortoniano) e acelera o processo erosivo, vide que as voçorocas 5 e 6 apresentaram maior crescimento durante o estudo

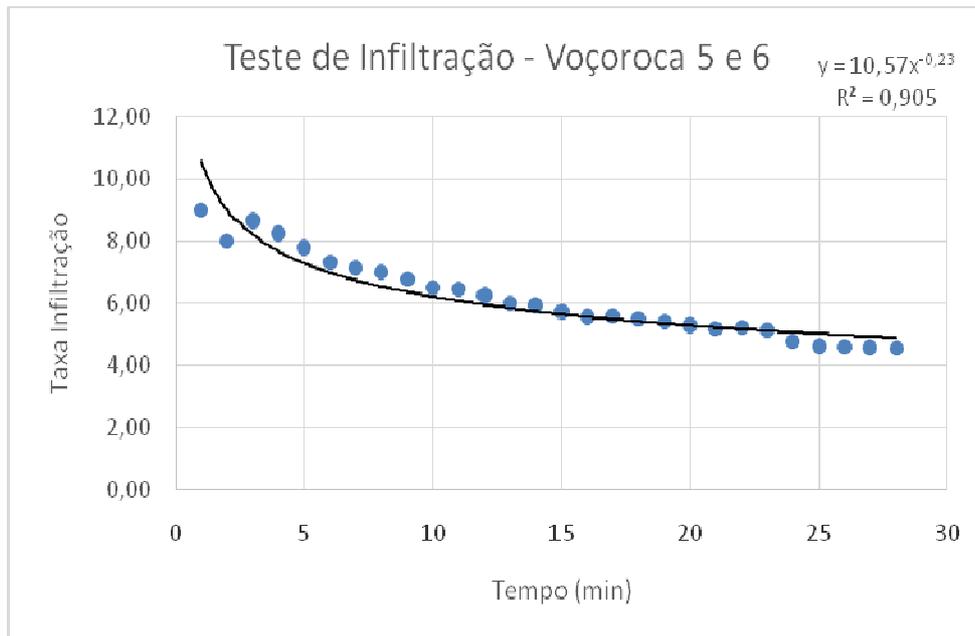


Gráfico 9: Teste de infiltração realizado na voçoroca 5 e 6.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015

O teste infiltração 4 foi realizado nas proximidades das voçoroca 7 , localizado no km 135,em uma superfície pouco compactada, com presença de vegetação.

Nos primeiros 3 minutos a taxa de infiltração é bastante elevada, tendo seu pico no primeiro minutos tendo um taxa de infiltração de 38 mm/min. a partir disso verifica-se a diminuição da taxa com sua consequente estabilização por volta do minuto 22. A taxa média de infiltração para este teste foi de 21,08 mm/min. e a taxa final de 19,52 mm/min. A considerar que o teste de infração apresenta uma duração de 25 minutos, logo o solo não leva muito tempo para alcançar a saturação, confirmando as características de solos ricos em argilas, como o Latossolo, encontrado na AM-010.

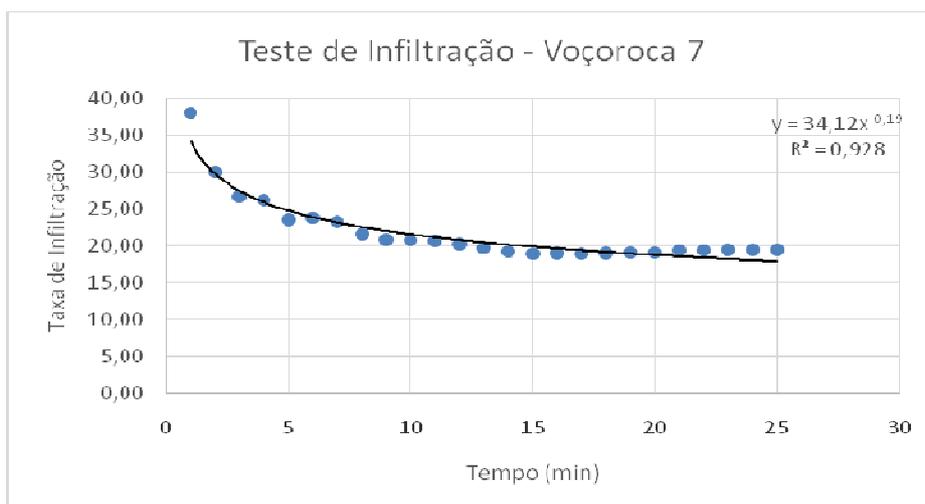


Gráfico 10: Teste de infiltração realizado na voçoroca 7.  
Organização: Anne C. M. Dirane, 2015.

A gráfico 11 mostra o teste de infiltração 5 localizado próximo a voçoroca 8, no Km 135,5 realizado em local sem a presença de vegetação. Os 2 minutos iniciais apresentam um taxa de infiltração elevada, a partir desse momento observou-se que uma diminuição da taxa e sua estabilização a partir de 22 minutos. O teste de infiltração teve seu pico no minuto inicial com uma taxa de 19 mm/min., e teve duração de 25 minutos, a taxa médio foi de 7,73 mm/min e a final de 6,44 mm/min.

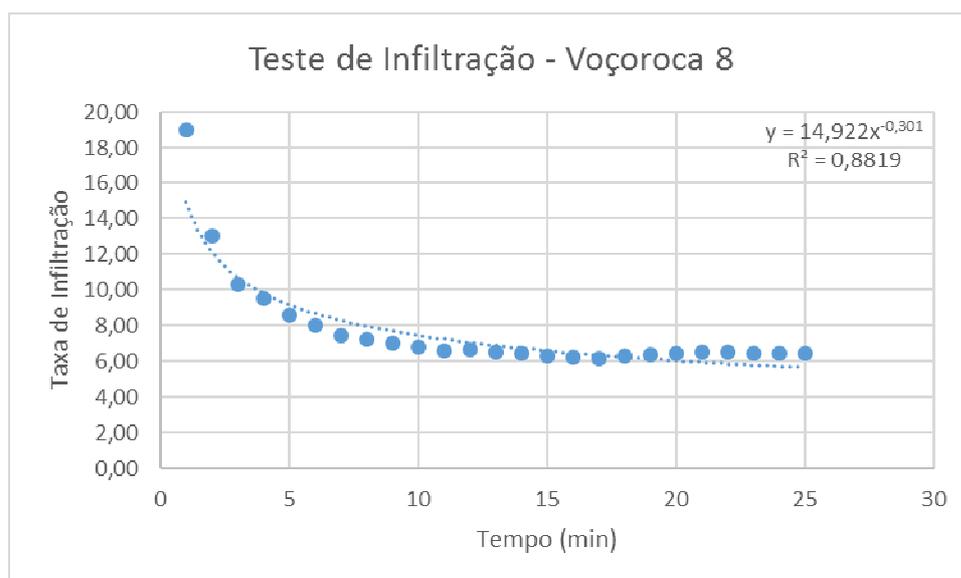


Gráfico 11: Teste de infiltração realizado na voçoroca 8.  
Organização: Anne C. M. Dirane, 2015.

No ponto 136, estão concentradas as voçorocas 9, 10, 11, 12 e 13, o local é representado por uma região rica em caulinita, e pouca vegetação. A infiltração é maior nos 4 primeiros minutos, a partir deste momento inicia o decréscimo e atinge a estabilidade a partir do minuto 20. O teste teve seu pico de infiltração no primeiro minuto com 20 mm/min. e teve duração de 24 minutos, com taxa média de 8,99 mm/min. e taxa final de 7,00 mm/min. O teste corroborou com as características físicas do solo do local, tal qual a quantidade de argila, típica do Latossolo a região.

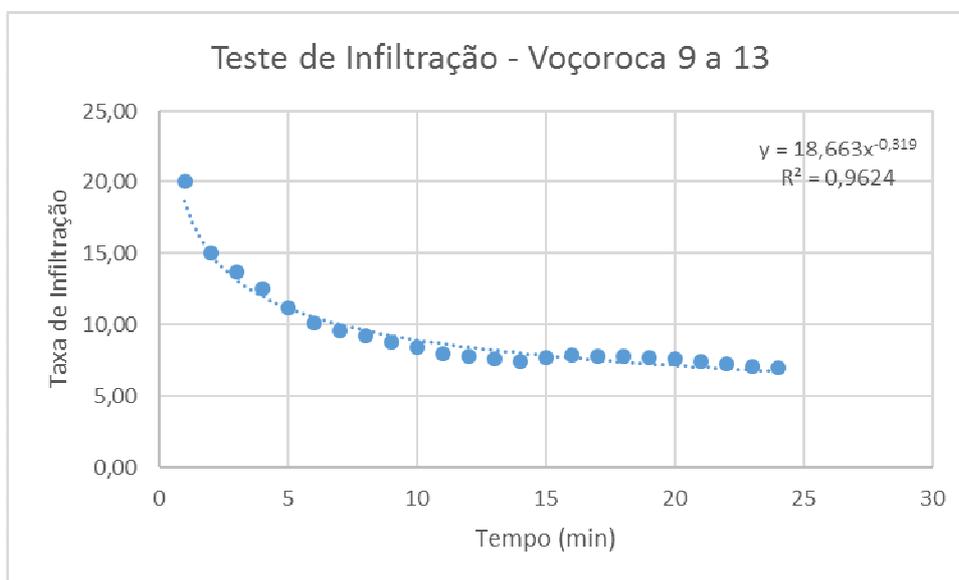


Gráfico 12: Teste de infiltração realizado na voçoroca 9 a 13.  
Organização: Anne C. M. Dirane, 2015.

O gráfico 13 mostra o teste de infiltração 7, realizado próximo a voçoroca 14, localizado no Km 137, onde houve aterramento e processo de terraplanagem, a região apresenta depósitos arenosos, no local do teste não há presença de vegetação.

O teste de infiltração 7 apresenta nos dois minutos iniciais alta taxa de infiltração, a partir disso há o decréscimo dos valores alcançando a estabilização no minuto 25 em diante. O teste teve seu pico 95 mm/min. Tendo duração de 27 minutos, a taxa média de 47,27 mm/min e a final de 34,78 mm/min. A alta taxa de infiltração se deve a falta de coesão do solo por ser constituído de um aterro, além disso tal deposição apresenta baixa ligação com o perfil original de solo.

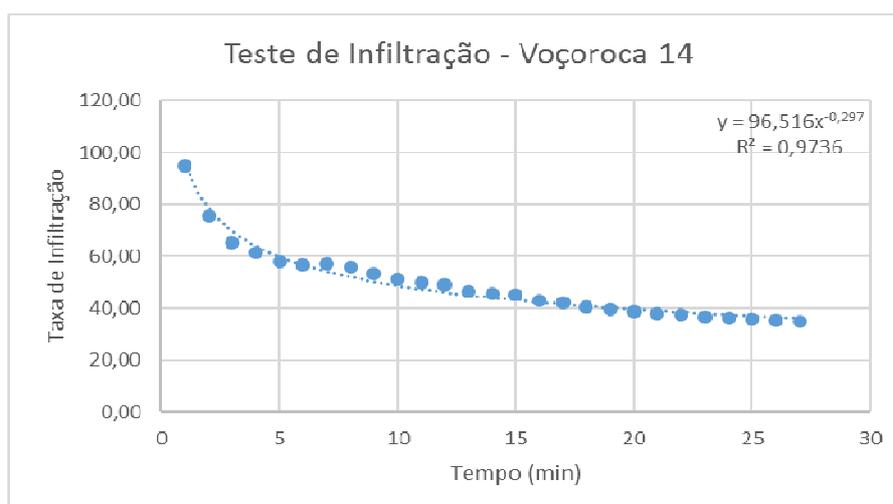


Gráfico 13: Teste de infiltração realizado na voçoroca 14.  
Organização: Anne C. M. Dirane, 2015.

#### 4.5 Resistência a penetração

A resistência do solo à inserção de um penetrômetro é, bem como a infiltração da água, um método secundário na avaliação da compactação. O uso do penetrômetro é uma maneira rápida e fácil de medir a resistência à penetração da superfície. O quadro (9) mostra os dados do teste com o penetrômetro na superfície das voçorocas ao longo da rodovia AM-010.

Quadro 11: Número de batidas na superfície das voçorocas.

	Voçorocas 1 e 2*	Voçorocas 3 e 4*	Voçoroca 5	Voçoroca 6	Voçoroca 7 e 8*	Voçorocas de 9 a 13*	Voçorocas 14 e 15*
<b>Intervalo</b>	<b>Número de batidas</b>						
0 - 5	4	5	26	1	1	7	5
5-10	10	7	28	4	3	36	32
10-15	10	8	31	17	2	31	43
15 -20	12	8	20	15	4	26	34
20 -25	6	8	26	13	4	24	37
25 -30	4	7	25	10	5	22	36
30 -35	3	8	26	8	11	20	40
35 – 40	4	9	18	8	12	19	32
40- 45	6	9	13	8	12	20	24
45 - 50	15	9	21	6	12	24	34

Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

\* Para alguns casos, foram realizados um único teste para mais de uma voçoroca em face da proximidade destas. Fonte: Anne C. M. Dirane, 2014.

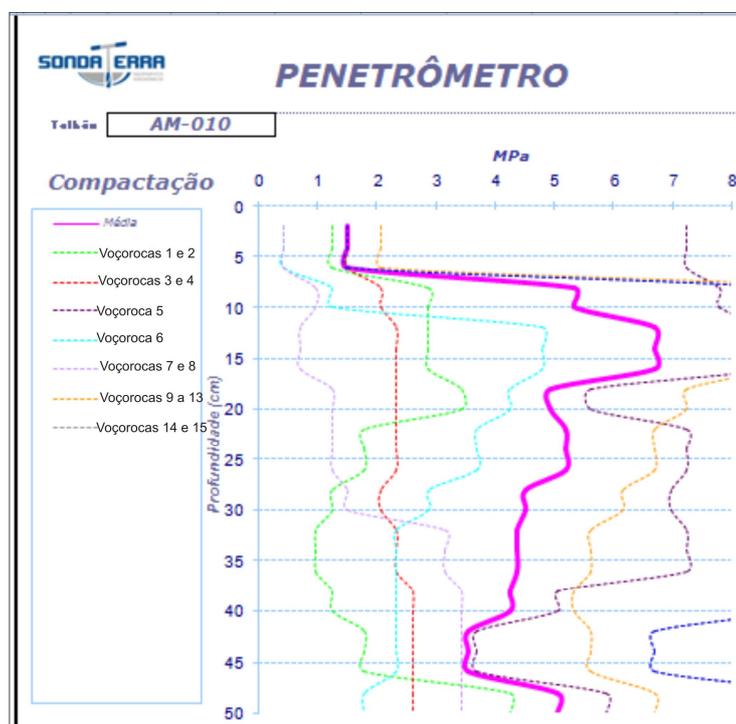


Gráfico 14: Resistencia do solo a penetração.  
Org.: Anne C. M. Dirane, 2015.

De acordo com o gráfico 14, o solo na proximidade das voçorocas 1 e 2 não é muito resistente a penetração, denunciando uma superfície pouco compactada, e um solo mais maleável. Na área do entorno da voçoroca 3 e 4, a superfície não se encontra muito compactada, o que resultou em um número menor de batidas para o teste, evidenciando um solo com pouca resistência, poroso e permeável.

A voçoroca 5 se encontra em uma superfície um pouco mais resistente, o que exigiu um numero maior de batidas para atingir a profundidade exigida pelo teste, o que fica bem evidenciado no gráfico 15 , pois ultrapassa o limite estabelecido neste, que é 8 *MPa* (medida Pascal<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> O pascal ( Pa) é a unidade padrão de pressão e tensão no SI. Equivale a força de 1 N aplicada uniformemente sobre uma superfície de 1 m<sup>2</sup>.

A incisão 6 revela um solo que não é tão resistente a penetração, ficando dentro do limite permitido, assim como as voçorocas 7 e 8, que mostram que sua superfície não se encontra compactada, facilitando a realização do teste.

As voçorocas de 9 a 13 possuem uma superfície muito compactada, exigindo um número expressivo de batidas para que atinja a profundidade de 50cm. As incisões 14 e 15, por se tratarem de uma superfície terraplanada, evidenciou um solo muito compactado e resistente a penetração.

Os testes de resistência do solo a penetração são importantes para os estudos relacionados a erosão, pois correlacionados com outras informações, podem afirmar a porosidade e a permeabilidade do solo, bem como sua compactação, facilitando o entendimento e previsão de erosões.

#### 4.6 Classificação textural do solo

Foram coletadas amostras de solos na superfície de seis voçorocas. Os resultados foram analisados e inseridos na pirâmide textural (U.S.D.A., 1951). A primeira coleta foi feita na voçoroca 1 e 2. De acordo com o gráfico 15, a porcentagem maior é de areia, mas o valor é bem próximo do silte e argila, estando na classe textural franco-argilo-siltosa.



Figura 40: Coleta de amostras de solo, voçoroca 1 e 2, AM-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2013.

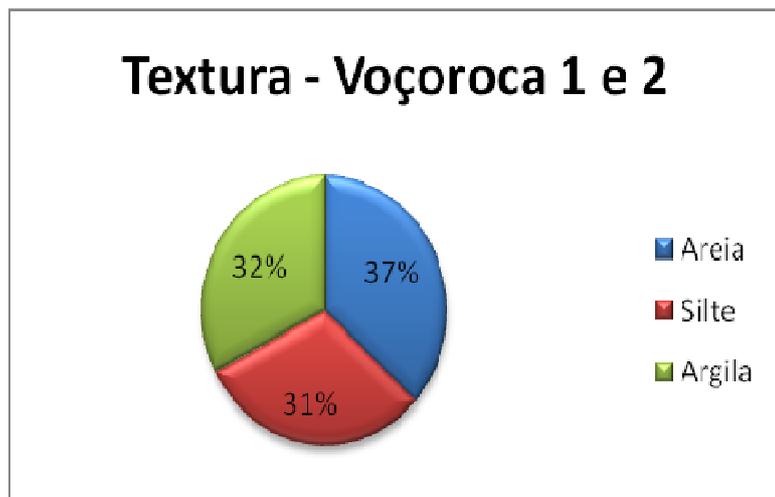


Gráfico 15: Textura da voçoroca 3 e 4.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O solo na superfície da voçoroca 4 apresentou características bem diferenciadas quando a classe textural, apresentando 43% de argila, 40% de areia e 17% de silte, sendo argilo-arenosa. A voçoroca 6 apresenta em sua composição 60% de areia, 20% de silte e 20% de argila, com textura franco-arenosa.

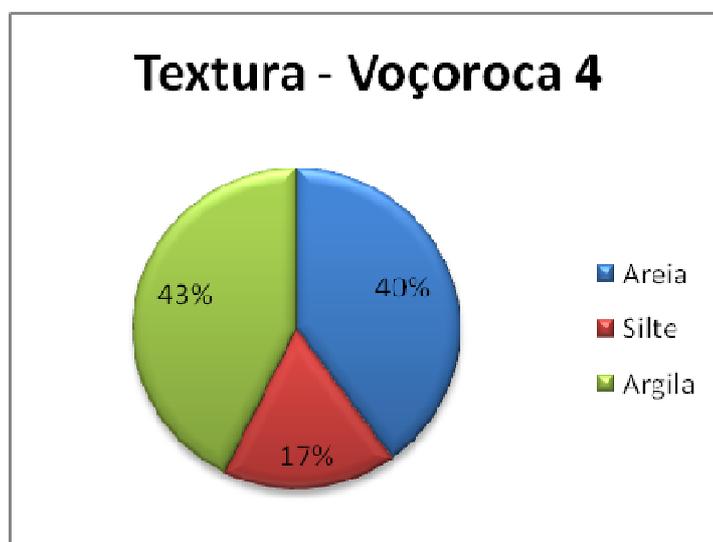


Gráfico 16: Textura da voçoroca 4.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

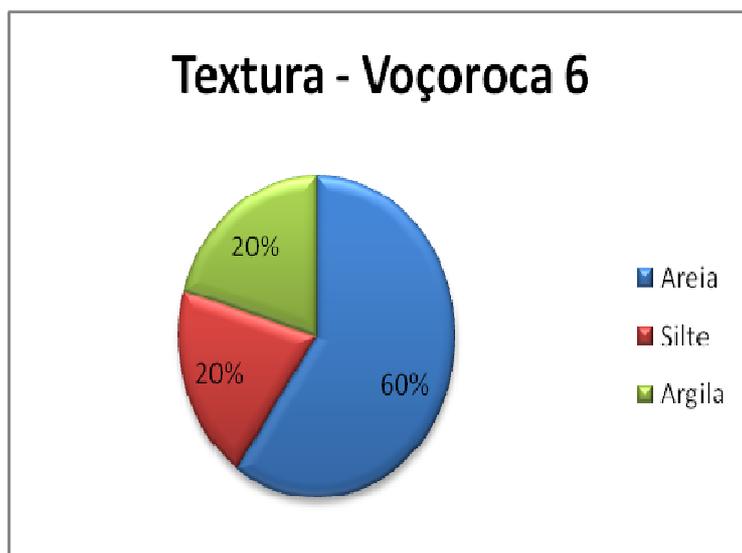


Gráfico 17: Textura da voçoroca 6.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O solo encontrado na superfície das voçorocas 7 e 8 apresentam uma textura franco-argilo-arenosa, possuindo respectivamente 47% e 48% de areia, 18% e 23% de silte e 35% e 28% de argila. Observase que possuem a mesma textura, fato que se dá por se encontrarem muito próximas.

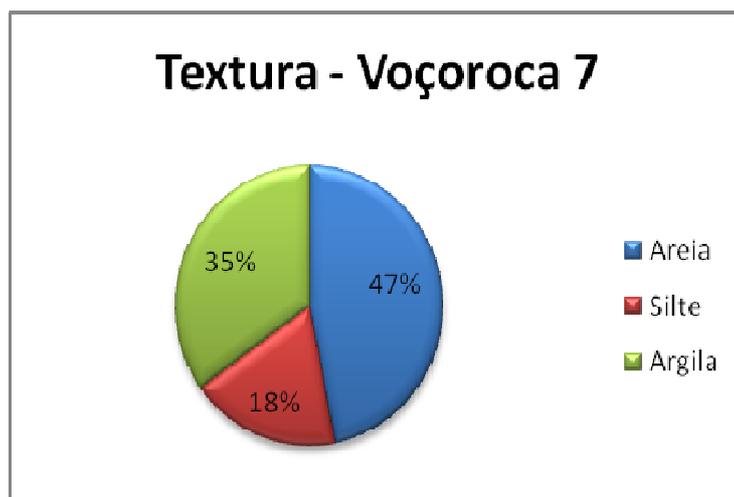


Gráfico 18: Textura da voçoroca 7.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

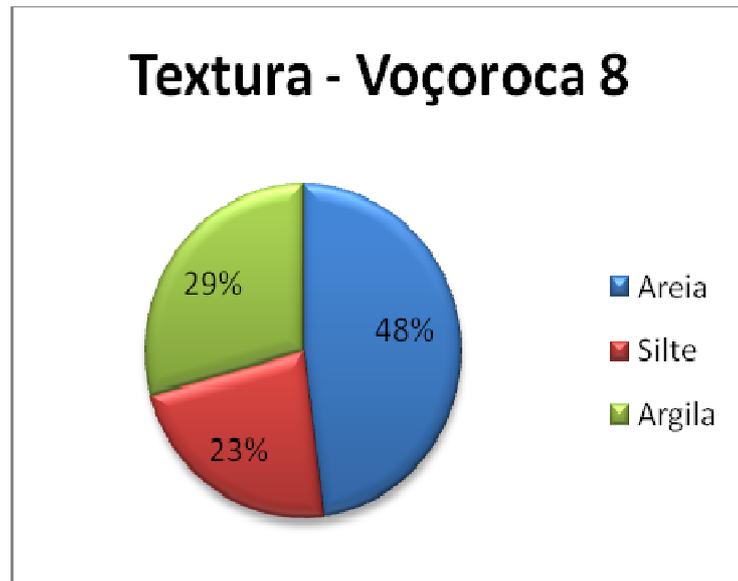


Gráfico 19: Textura da voçoroca 8.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

O gráfico 20 mostra que a superfície da voçoroca 14 apresenta textura bem diferentes das demais, sendo arenosa, com 67% de areia, 32% de silte e 1% de argila, fato que se dá pela superfície ser terraplanada .

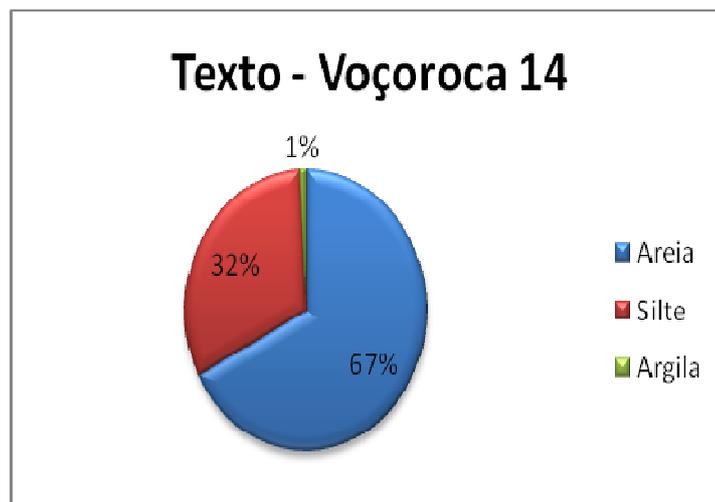


Gráfico 20: Textura da voçoroca 14.  
 Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

#### 4.7 pH do Solo

Os valores de pH, foram obtidos próximos ao local de coleta das amostras, na superfície do solo (0-10 cm). De acordo com os resultados, o potencial de hidrogeno do solo ao longo da rodovia AM-010 pode ser em termos gerais, como ligeiramente ácido, pois apresenta valores médios de pH de 6,5.



Figura 41: Phmetro na superfície de uma voçoroca.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015.

Quantitativamente, o grau de acidez do solo é identificado como ligeiramente ácido, com pH entre 6,0 e 7,0; moderadamente ácido, com pH entre 5,5 e 6,0; fortemente ácido, pH entre 5,0 e 5,5; muito ácido, pH 4,5 a 5,0; e extremamente ácido, pH menor que 4,5 (EMBRAPA,1997). Os valores obtidos com o pHmetro auxiliaram na análise das voçorocas, uma vez que é características dos solos argilosos um pH ácido, freqüente em regiões próximas às margens de rios e várzea.

Quadro 12: Ph do solo no entorno das voçorocas da AM-010.

Voçorocas	pH
1 e 2	6.8
4	6.8
6	6.7
7	5.1
8	7
14	7

Org.: Anne C. M. Dirane, 2015.

## 4.8 Características Geoambientais da rodovia AM-010

A região amazônica possui uma vasta vegetação, com inúmeras espécies de animais e plantas, com clima equatorial e detentora da maior bacia hidrográfica do mundo (ESCOBAR, 2007). Com todas essas características, se faz necessário delimitar recortes espaciais para uma descrição mais detalhada das características geoambientais. A rodovia AM-010 serviu de recorte para delimitar as características do geoambiente relacionado ao solo, hidrografia e vegetação.

### 4.8.1 Solos

Existem três classes de solos que se destacam nos municípios de Manaus, Rio Preto da Eva e Itacoatiara, que são o Latossolo Amarelo, Espodossolo e Neossolo Quartzarênico.

Para Lepsch (2011) o solo é resultado de vários aspectos naturais (clima, relevo, vegetação), sendo assim, de acordo com Ross (2009) ele se apresenta como um grande classificador de uma unidade geambiental.

Segundo a EMBRAPA (2003) o Latossolo amarelo é um solo muito argiloso. Este tipo de solo pode ser encontrado em diversos tipos de relevo, dos mais planos aos mais ondulados, e é considerado distrófico por possuir baixa fertilidade. Desenvolve-se sobre floresta densa e possui sua pedogênese ligada ao terciário, formação Alter-do-chão (RADAM, 1976). De acordo com Lepsch (2011), o Latossolo ocupa 41,1% do solo encontrado em toda a Amazônia.

De acordo com o RADAM (1976) o neossolo quartzarênico, é proveniente de deposição recente, principalmente, deposições fluviais. São considerados eutróficos devido sua alta fertilidade e são constituídos por uma textura silto-arenosa. Esses solos representam áreas de enclave na Amazônia, sendo também considerados áreas de transição ecológica (A'B SABER, 2000).

O solo que predomina, ao longo das colinas é o Latossolo Amarelo rico em alumínio, ao passo que, nos anfiteatros e / ou nas proximidades dos cursos d' água, verifica-se a presença de solos Hidromorficos Gleizados.



Figura 42: Latossolo Amarelo bastante alterado pela terraplanagem, rodovia Am-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2014.

#### 4.8.2 Geologia e geomorfologia

A geomorfologia presente na AM-010 está inserida, na Unidade Morfoescultural do Planalto Dissecado Rio Trombetas- Rio Negro (SILVA, 2005), composta basicamente de colinas e interflúvios com altimetria que não ultrapassa 100m.

A figura 27 de elevação do terreno mostra que as incisões erosivas estão localizadas na parte mais elevada do relevo, entre 82m e 100m, o que facilita a aceleração do processo erosivo e conseqüentemente a formação de voçorocas que se conectam ao fundo do vale.

De acordo com Christofolletti (1980) os métodos de analisar e determinar as formas de vertente são numerosos. O emprego dos perfis tornou-se técnica descritiva de ampla aceitação na análise das vertentes. O método usado com maior frequência na análise dos perfis de encostas é dividir as unidades em retilíneas, convexas e côncavas.

O perfil do relevo no entrono das voçorocas foi verificado em campo e comparado com o obtido através do geoprocessamento, que de acordo com Ruhe (1975), temos para as voçorocas 1 e 2, localizadas no km 46 uma vertente convexa-concavo, assim como o trecho que compreende o km 104, onde situam-se as incisões 3 e 4 (Figura 44).

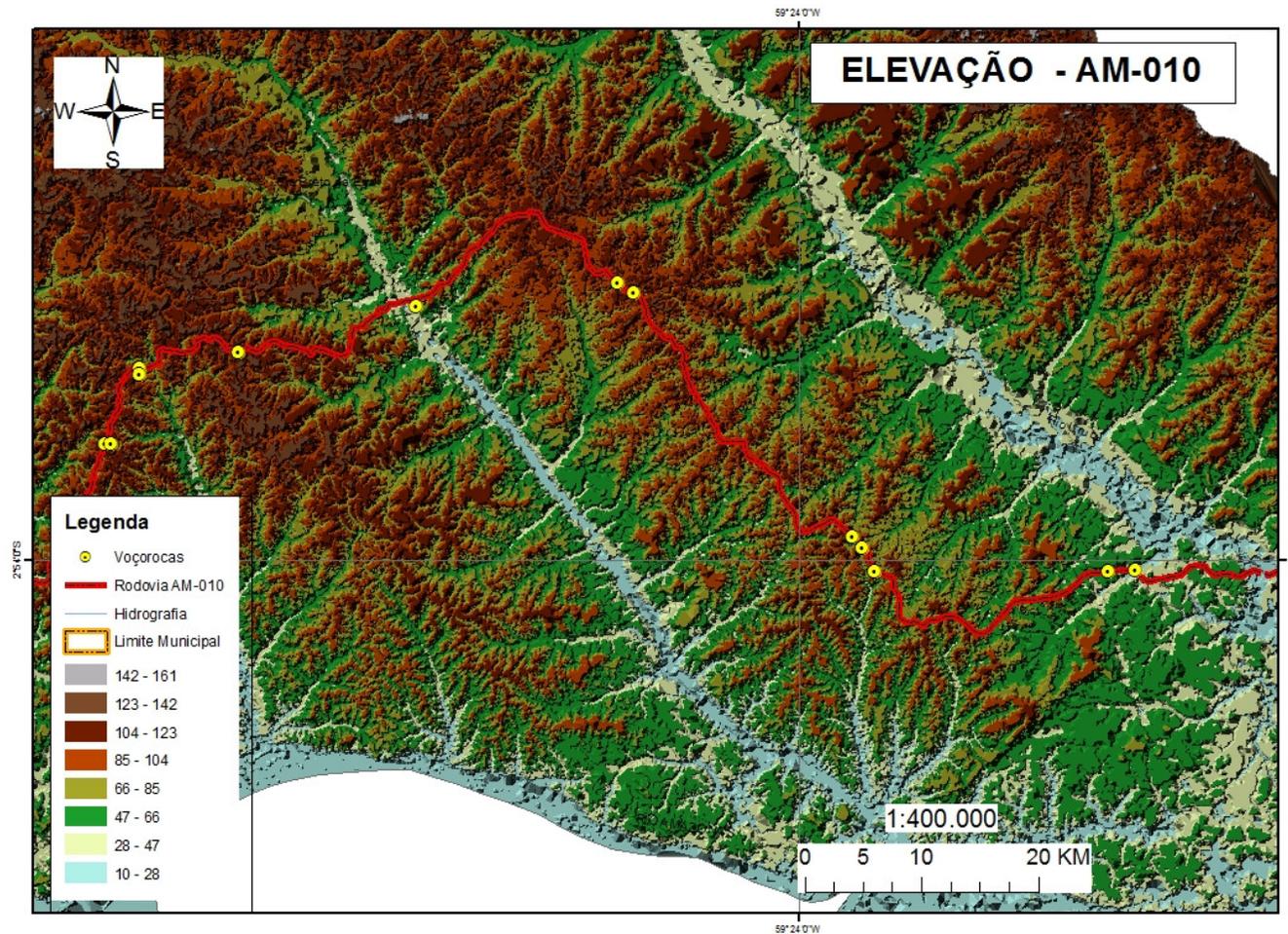


Figura 43: Elevação do terreno na rodovia AM-010.  
Org.: Anne Dirane, 2015.

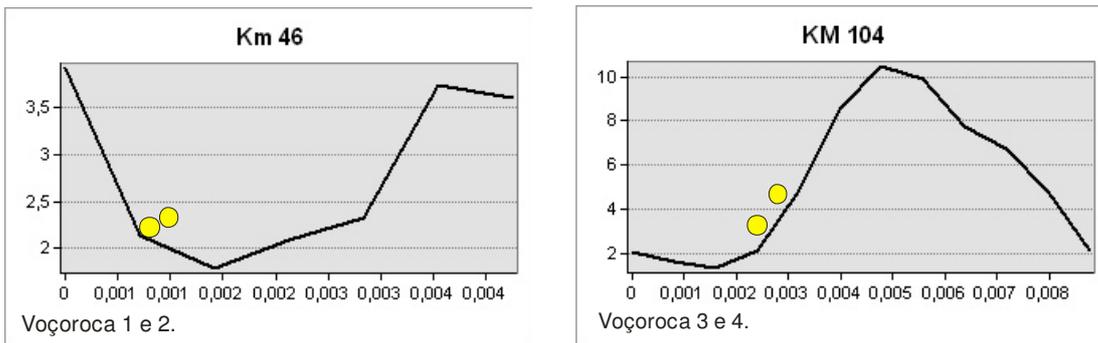


Figura 44: Localização das voçorocas do km 46 e 104 na encosta, na rodovia Am-010  
 Organização: Anne Dirane, 2015.

A vertente que compreende o km 116 é do tipo retilínea-convexa, como mostra a figura 29, e no trecho seguinte, km 125, que abrange a voçoroca 6 o tipo de vertente apresenta-se como retilíneo-concavo. As duas voçorocas se localizam na porção retilínea da vertente.

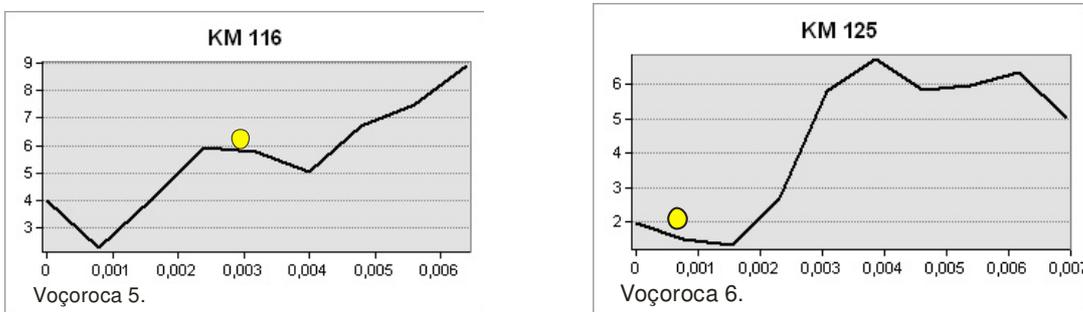


Figura 45: Localização das voçorocas do km 116 e 125 na encosta, na rodovia Am-010  
 Organização: Anne Dirane, 2015.

No trecho que compreende o km 136 e 137, onde estão localizadas as voçorocas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 o tipo de vertente retilíneo-cônvexo, evidenciado que esse tipo de vertente é mais favorável ao surgimento de voçorocas, pois as incisões estão concentradas na porção retilínea da vertente.

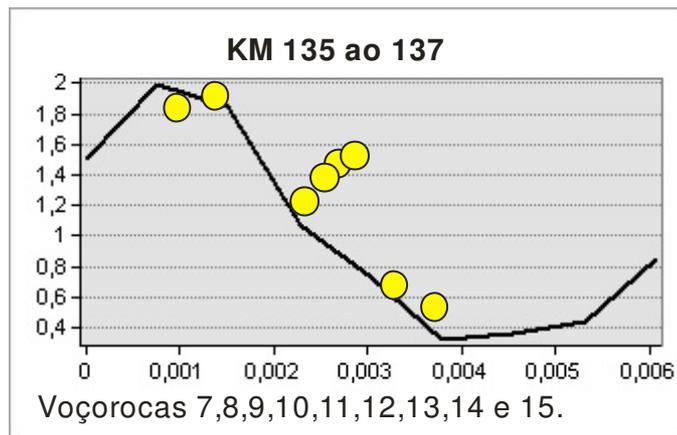


Figura 46: Localização das voçorocas do km 135 ao 137 na encosta, na rodovia Am-010  
 Organização: Anne Dirane, 2015.

O mapa de declividade deixa claro a forte relação entre a localização das voçorocas e a declividade do relevo. Essa relação é confirmada também através do trabalho de campo, onde as voçorocas estão localizadas em terrenos onde a declividade varia de 3° a 20°, portanto, uma declividade fraca.

Uma vez estabelecida, a incisão evolui em direção a montante e, ao atingir a borda do platô, a velocidade de expansão diminui e o aprofundamento do canal se intensifica por meio dos fluxos que migram para o interior da incisão ou se formam no seu interior. À

medida que a incisão aumenta de tamanho, reduz-se a área de contribuição da incisão, diminuindo também o volume de água escoada para o interior da incisão (VIEIRA, 2008).

#### 4.8.3 Vegetação

A vegetação no entorno das rodovias seguem a tipologia classificada pelo RADAM (BRASIL, 1972), com a Floresta Ombrofila Densa, e áreas de transição ecológica (AB' SABER, 2000). No entanto, além desses tipos de vegetação também foi identificado à vegetação Equatorial Higrófila de Várzea (EMBRAPA, 2003).

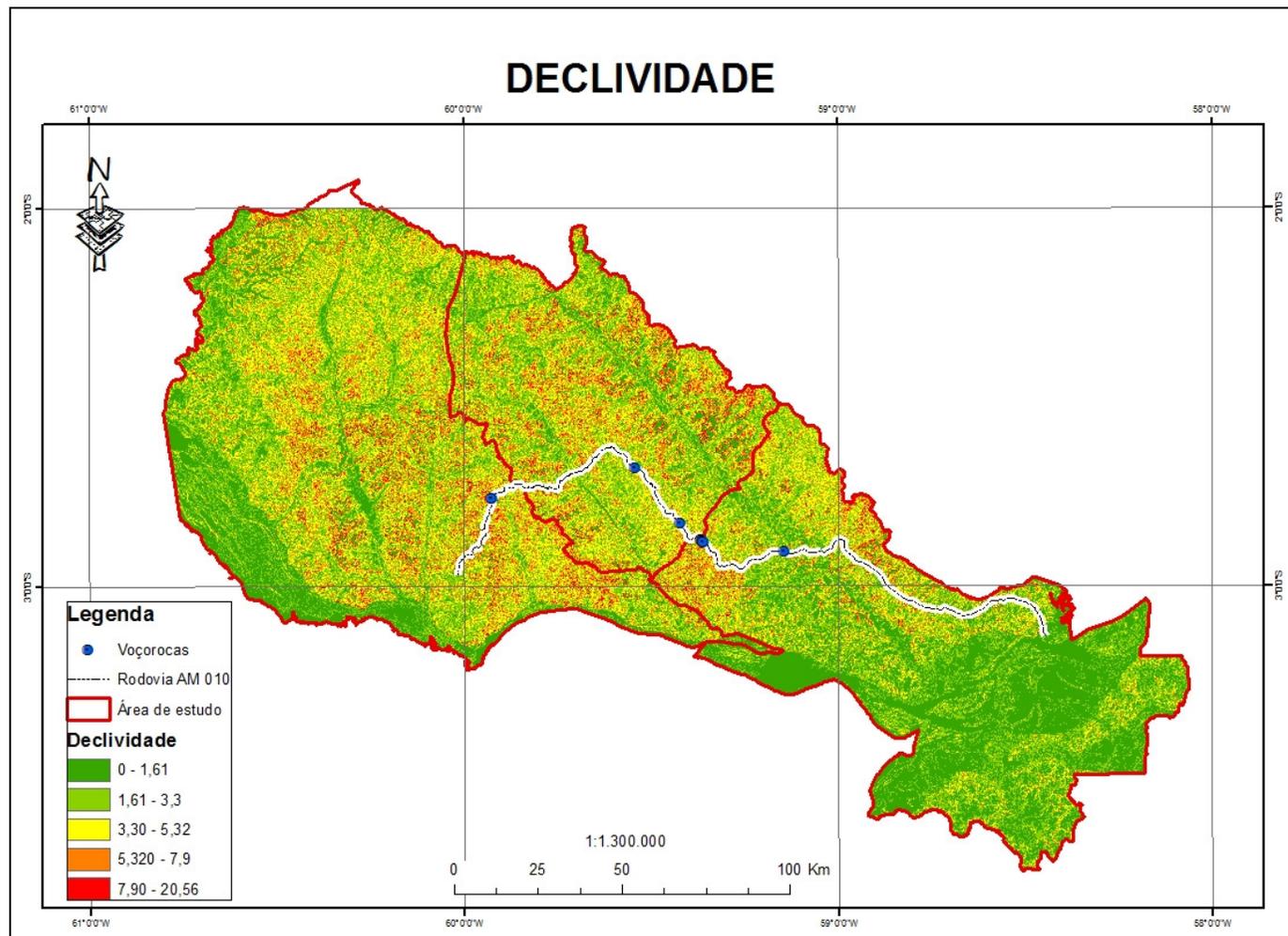


Figura 47: Declividade do terreno na rodovia AM-010.  
Org.: Anne Dirane, 2013.

A cobertura apresentada nas bordas da rodovia é secundária devido ao processo da construção desta, no entanto, ainda verifica-se vegetação primária resistente caracterizada por espécies cujos troncos apresentam grandes dimensões, altura e densa cobertura de serrapilheira sobre o solo (PAES et al., 2011).



Figura 48: Floresta Ombrofila densa, ao longo da rodovia Am-010.  
Fonte: Anne C. M. Dirane, 2015

#### 4.8.4 Hidrologia

A região amazônica além de ser conhecida por ser o berço da maior floresta do mundo, abriga o maior rio do mundo também. Ao longo da rodovia AM-010 podem-se encontrar inúmeros canais fluviais (Figura 49), a maioria se encontra assoreado ou em processo de assoreamento.

A figura 49 mostra o fundo de vale, onde se encontra uma voçoroca conectada. A hidrografia ao longo da rodovia, em quase todos os trechos se encontra assoreada ou em processo de assoreamento, por conta da deposição de material proveniente das incisões erosivas.



Figura 49: Igarapés ao longo da rodovia AM-010.  
Organização: Anne C. M. Dirane, 2015.

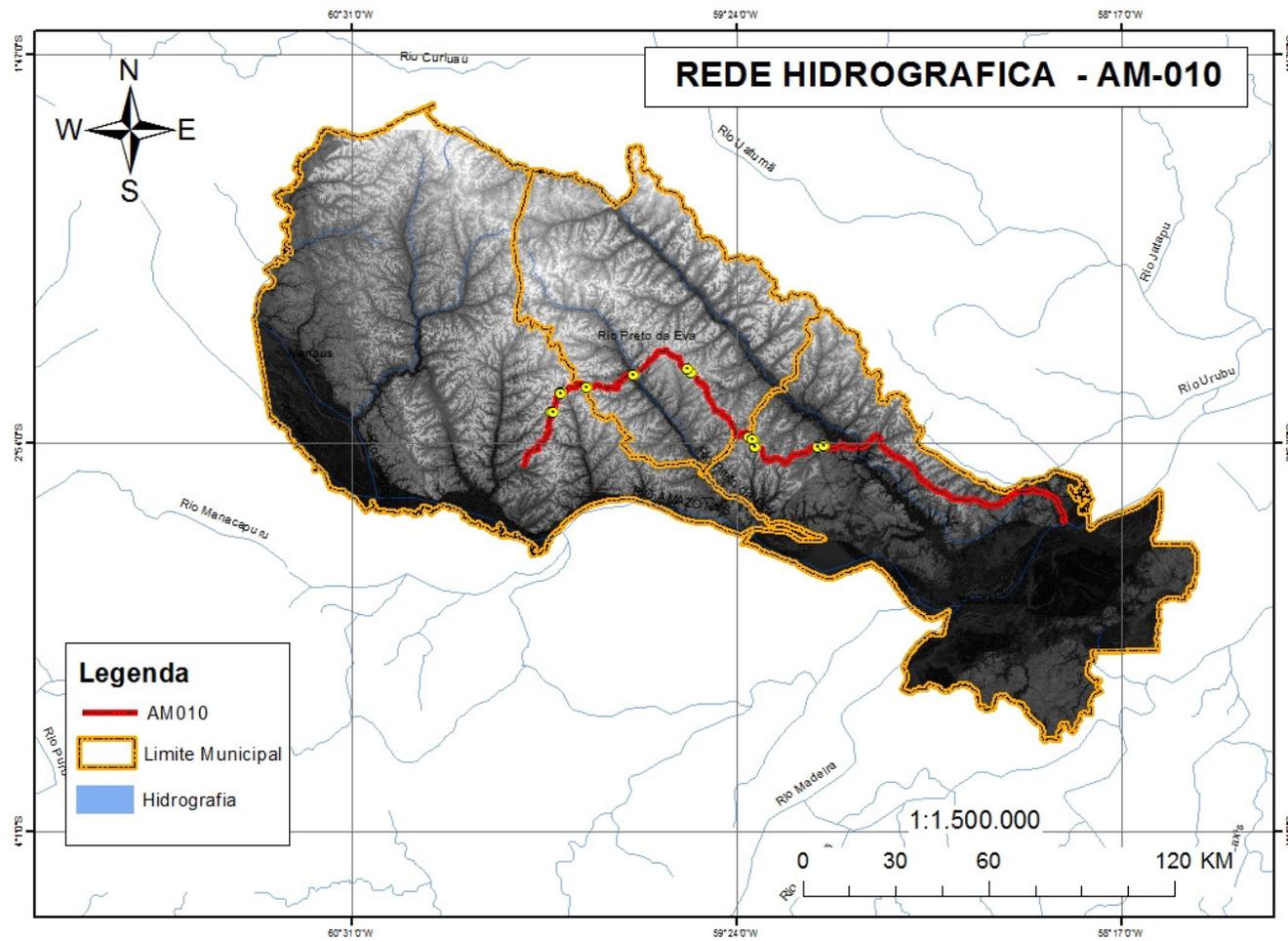


Figura 50: Canais hidrograficos ao longo da rodovia AM-010.  
 Organização: Anne C. M. Dirane, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados permitem concluir que a ocorrência de incisões erosivas do tipo voçoroca são freqüentes ao longo da rodovia AM-010 (as incisões estão localizadas entre o km 46 e o km 137), que conecta diretamente Manaus aos municípios de Rio preto da Eva e Itacoatiara e indiretamente aos municípios de Silves (Rodovia AM- 330) e Itapiranga (Rodovia AM- 363). Essas duas últimas, apesar de não fazerem parte desta pesquisa, a ocorrência de voçorocas também é frequente. Tais feições estão ligadas diretamente às obras de infraestrutura da estrada, com destaque para as canaletas e tubulações de canais pluviais. Ao longo do trabalho foram cadastradas e monitoradas 15 incisões erosivas do tipo voçoroca. No primeiro campo foram cadastradas 12 voçorocas e 3 ravinas (no período de 8 meses essas ravinas evoluíram para voçorocas). O monitoramento consistiu na coleta de dados morfométricos de cada incisão erosiva (comprimento, largura, profundidade, tipo, forma e tamanho) e a distancia da pista, para entender a evolução e assim fazer a previsão de risco.

A maior parte dessas voçorocas (9) foram consideradas muito pequenas, pois seu volume erodido não ultrapassa 999 m<sup>3</sup>. Apesar de algumas incisões apresentarem grandes larguras e comprimentos, o volume erodido era pequeno. Outra característica é que todas as voçorocas apresentam risco a longo prazo em relação á pista, pois levarão um tempo superior a 15 meses para atingi-la.

Os parâmetros de identificação quanto ao tipo e a forma foram primordiais para a previsão de risco, relacionadas com a orientação da incisão e da vertente, permitiu a verificação de áreas ativas, prevendo a direção de seu crescimento. As voçorocas retangulares denunciam atividades nas cabeceiras, apresentando crescimento rápido.

De acordo com os testes de infiltração e de resistência do solo, os trechos da rodovia onde há predominância de voçorocas, apresentaram taxas de infiltração semelhantes e o solo encontrou resistência a penetração, mostrando uma superfície muito compactada. As superfícies que apresentaram as taxas mais altas de absorção e menor números de batidas para a penetração, foram as superfícies onde havia presença de vegetação. A compactação do solo está ligada a construção da rodovia, pois os primeiros 20 cm de profundidade são os mais compactados, resistentes à penetração, passados os 20

em de profundidade, o solo acaba perdendo a resistência, permitindo a penetração mais fácil. Os testes deixam claros a ocorrência da compactação em todas as superfícies no entorno das voçorocas.

No trecho da rodovia onde a vertente é retilínea-côncava, foi notório o crescimento das incisões, podendo ser verificada a evolução de ravinas para voçorocas. A área de contribuição pode ser considerada como fator preponderante para a evolução da feição erosiva, pois quanto maior esta área, mais acúmulo de água é possível e conseqüentemente, maior possibilidade de fluxos mais rápidos e maior volume de sedimentos transportados. O solo da margem da rodovia, de acordo com seu pH foi considerado ligeiramente ácido, o que torna difícil a germinação nas áreas degradadas, ao passo que a vegetação encontrada no entorno das incisões é secundária.

Os aspectos geoambientais da rodovia AM-010 revelam a predominância do Latossolo Amarelo, em todo o trecho da rodovia, mas encontra-se também Espodossolos, principalmente em áreas próximas aos fundos de vales e igarapés. Em relação a malha hidrográfica, encontra-se muitos canais, e entre esses, alguns assoreados e com presença de 'paliteira'. A vegetação predominante nesses cursos é secundária, mas verifica-se presença de palmeiras.

A degradação ambiental ao longo de rodovias é perceptível de diversas maneiras, seja com o desmatamento, assoreamento e poluição de rios e igarapés e degradação do solo. O voçorocamento é encontrado em alguns trechos da rodovia, tal ocorrência dá-se pelo corte do relevo, pelas obras de infraestrutura e o tipo de solo. Nos trechos em que não há ocorrência de voçorocas, são os trechos em que a rodovia obedece a geomorfologia. Não foram observadas voçorocas no topo das vertentes e estas ocorrem principalmente na transição do horizonte B para o horizonte C, ou diretamente no horizonte C (fato relacionado à exposição desse horizonte mais susceptível, em decorrência da construção da rodovia).

A construção de rodovias se faz necessário para o crescimento, desenvolvimento e mobilidade, e como consequência, muitas vezes os impactos são inevitáveis. Para que tais impactos sejam mínimos é necessário estudos e planejamentos, uma vez que a degradação dos solos podem causar prejuízos imediatos e a longo prazo provocar danos materiais e sociais.

## REFERÊNCIAS

AB' SABER. (1968). **As boçorocas de Franca**. In: Revista da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca. Ano I. No. 2. Franca: FFF.

BEMERGUY, R.L. **Morfotectônica e evolução paleogeográfica da região da calha do Rio Amazonas**. Belém, 1997. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica)-Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

BIGARELLA, J.J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: **Livro guia do 3º Simpósio Nacional de Controle de erosão**. Maringá: ADEA / ABGE, 1985.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL** : Folha SD. 23. Rio de Janeiro, 1982. 660 p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 29)

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. In: **Anuário do Instituto de Geociências**, UFRJ, 2005.

CASSETI, V. **Estudo dos efeitos morfodinâmicos pluviais no Planalto de Goiânia**. Tese de Doutorado. USP, S. Paulo, 1983.

COELHO NETTO, A. L.. Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia. In: **GUERRA, Antonio J.T. & CUNHA, Sandra B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

COSTA, M. L. **Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia**. In: Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 1994.

COSTA, Newton de Lucena, TOWNSEND, Claudio Ramalho, MAGALHÃES, João Avelar e PEREIRA, Ricardo Gomes de **A. Desempenho agrônomico de genótipos de leucena em Porto Velho, RO**. LOCAL: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2000.

CUNHA, M.A. (Coord). **Ocupação em Encosta**. São Paulo: IPT, 1991.

CHISTOFOLLETI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. P. **Análise da susceptibilidade a deslizamento no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC**. In: Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra, UFRJ, 2002.

EGLER, C. A. G. **Risco Ambiental como Critério de Gestão do Território**. *Território, 1*: 31-41, 1996.

EMBRAPA, 1997. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 1997. 2ª ed., 212 p.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Belém-PA)**. Avaliação da Aptidão Agrícola do Município de Silves – Estado do Amazonas. Belém, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1997.

FARIA, A. P. Os processos erosivos e as suas variações nas escalas temporal e espacial: revisão e análise. In: **Revista Brasileira de Geografia**. Vol.58, nº1/4, 1996.

FARRES, R. **The role of time and aggregate size in the crusting process**. Earth surface process, 243-254.

FENDRICH, R.. Erosão Urbana. In: FENDRICH, R.; OBLADEN, N.L.; AISRE, M.M.; GARCIAS, C.M. e ZENY, A.S. **Drenagem e controle de erosão urbana**. Curitiba: EDUCA – Editora Universitária Champagnat, 1984.

FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B.C.; MONTGMOERY, D. R.; GREENBERG, H. **Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas**: Avaliação de Metodologias e Aplicações de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. In: Revista Brasileira de Geomorfologia. Vol.02, nº01, 2001.

FERNANDES, N. F. *et al* . **Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling**. Catena: interdisciplinary journal of Soil Science. Nº55, 2004.

FERNANDES, M. C.; LAGUENS, J. V. M.; COELHO NETTO, A. L. **O processo de ocupação por favelas e sua relação com os eventos de deslizamentos no Maciço da Tijuca/RJ**. In: Anuário do Instituto de Geociências – IGEO/UFRJ. Vol. 22,1999.

FRANZINELLI, E., IGREJA, H.S., ROSSI, A. **Novas contribuições ao estudo do “Arenito Manaus” horizonte silicificado da Formação Alter do Chão, Bacia sedimentar do Amazonas, Brasil.** In: Simpósio de Geologia da Amazônia, VIII, 2003, Manaus. Anais... Manaus:SBG/NO, 2003 (CD-ROM).

GUERRA, A. J.T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. In: **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**,1990.

GUERRA, A.J.T. **Processos erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A. J.T. & CUNHA, S.B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In:GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia – uma atualização de bases e conceitos.** Bertrand Brasil, 1996.

GUERRA, A.J.T. Ravinas: processo de formação e desenvolvimento. **Anuário do Instituto de Geociências.** Volume 20. Rio de Janeiro, 1997.

GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico.** Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1997.

GUERRA, A.J.T . BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão dos solos. In: Geomorfologia do Brasil.** S.B. da CUNHA e A. J. T. GUERRA (orgs.). BertrandBrasil, Rio de Janeiro, 1998.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GERRA, A.J.T. **A contribuição da Geomorfologia no Estudo dos Recursos Hídricos-Bahia Analise & Dados.** Salvador, v.13, n. Especial, 2003.

GUERRA, A.J.T, MENDONÇA, J.K.S. **Erosão dos solos e a questão ambiental.** In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (orgs.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A.J.T. **Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos.** Revista do departamento de geografia da USP, vol, 16, 2005.

GUERRA, A.J.T. **Erosão e Conservação dos Solos** – Aplicações, Temas e Conceitos. RJ: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A.J.T., CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de base e conceitos**. RJ: Bertrand Brasil, 2006.

GONÇALVES, L. F. H; GUERRA, A. J. T. **Movimentos de Massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro)**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.(Orgs.) **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

HORTON, R.E. (1945). **Erosion development of stream sand their drainge basins: hydrogical approach toquantitavegeomorphology**. GeologicalSocietyofAmericaBulletin, n. 56, 275-376.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico pedologia**, 2007.  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico Vegetação**, 2012.

IGREJA, H.L.S.; CATIQUE, J.A. **Análise neotectônica dos lineamentos de Itacoatiara centro-leste do estado do Amazonas**. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 6, 1997, Belém. Anais. Belém: SBG/NO, 1997, v. 1, p.Doc., 2002.

LEPSCH, IGO, F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MOLINARI, D.C. e VIEIRA, A.F.G. **Considerações preliminares sobre a capacidade de infiltração de água no solo no Distrito Industrial II – Manaus (AM)**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. (Anais). Santa Maria: UGB/UFSM, 2004.

MOLINARI, D.C. **Dinâmica erosiva em cicatrizes de movimento de massa- Presidente Figueiredo (Amazonas)**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: UFSC/PPGG, 2007

NASCIMENTO, E.E.D.J. **Contribuições ao estudo de processos erosivos acelerados em áreas de rampas de dissipação**. (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: DPGG/UFSC, 1998.

OLIVEIRA, M.A.T.de. **Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Threedimensional Approach**. In: Catena: na interdisciplinary journal of Soil Science Hydrology – Geomorphology. Vol. 16. W. Germany: Catena Verlag, 1989.

OLIVEIRA, M. A. T.; MEIS, M. R. M. **Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP)**. In: Geociências. nº 4. São Paulo, 1985.

OLIVEIRA, M.A.T.de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: **GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990.

RODRIGUES, Roberto. **Erosão em Rodovias: Problema a ser resolvido**. In: **5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. (ANAIS). Bauru- São Paulo: ABGE/DAEE, 1995.

ROSS, J.L S. (2000). Fundamentos da Geografia da Natureza. In: \_\_\_\_\_ (org.).**Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP.

RUHE, R.V. (1975). **Geomorphology: Geomorphic processes and surficial geology**. Boston: Houghton Mifflin.

SILVA, A.C.; TORRADO, P.V. JUNIOR, J. de S.A. **Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo**. Revista Universidade Alfenas. Alfenas, v. 5, n. 3, jan./jul. 1999.

SILVA, A.J.P. da; LOPES, R. da C.; VASCONCELOS, A.M.; BAHIA, R.B.C. **Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores**. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

SILVA, C. L. Análise da tectônica cenozoica da região de Manaus e adjacências. Tese de Doutorado em Geociências – Programa de Pós Graduação em Geociências – Área de concentração em Geologia Regional; Rio Claro – SP, 2005.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Terra: feições ilustradas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre-RS, 2008.

STERNBERG, H.O'R. **A água e o homem na várzea do Careiro**. Belém: Museu Paraense Emilio Gueldi, 1998.

VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca – SP**. Franca: Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 1975.

VIEIRA, A.F.G.; LIMA, N. P. S. de. Mapeamento de voçorocas do sítio urbano de Manaus. **In: I Simpósio Nacional de Geomorfologia.** (Anais). Uberlândia: Revista Sociedade & Natureza – EDUFU, 1996.

VIEIRA, A.F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM).**Dissertação (Mestrado). Florianópolis: UFSC, 1998.

\_\_\_\_\_. Cadastramento como forma de monitoramento de voçorocas. **In: 4º Simpósio Nacional de Geomorfologia.** (Anais). São Luis: UFMA, 2002.

VIEIRA, A. F.G; ALBUQUERQUE, A. R. da C. Cadastramento de voçorocas e análise do risco erosivo em estradas: BR -174 (trecho Manaus-Presidente Figueiredo). **In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul- Americano de Geomorfologia.** Santa Maria: UFSM, 2004.

VIEIRA, A. F.G., MOLINARI, D.C. Degradação ambiental no Distrito Industrial de Manaus - AM. (Anais – Cd room). **In: VI Simpósio Nacional e Congresso Latino Americano sobre recuperação de áreas degradadas.** Curitiba: UFPR, 2005.

VIEIRA, A. F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbanos-ambientais.** (Tese de doutorado em Geografia): Departamento de Geografia. UFSC, 2008.

VITTE, A.C. Da metafísica da natureza à gênese da geografia física moderna. **In: VITTE, A.C. (org.) Contribuições à história e à epistemologia da geografia.** RJ: Bertrand Brasil, 2007.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, J. E., GONÇALVES, R. C.; SOUZA, C. B. da C. de e ALVES, L. da S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** Rio Branco, AC: EMBRAPA ACRE, 2003.