



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



**OCORRÊNCIA DE VOÇOROCAS (*GULLIES*) NA RODOVIA BR 174,
TRECHO MANAUS-PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM): GÊNESE,
MORFOLOGIA E PREVISÃO DE RISCOS**

DANIELA PAIVA CARVALHO

MANAUS – AM
2017

DANIELA PAIVA CARVALHO

**OCORRÊNCIA DE VOÇOROCAS (*GULLIES*) NA RODOVIA BR 174,
TRECHO MANAUS-PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM): GÊNESE,
MORFOLOGIA E PREVISÃO DE RISCOS**

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: Domínios da Natureza na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira

**MANAUS – AM
2017**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C331o Carvalho, Daniela Paiva
Ocorrência de voçorocas (gullies) na Rodovia BR-174, trecho
Manaus-Presidente Figueiredo (AM): gênese, morfologia e previsão
de riscos. / Daniela Paiva Carvalho. 2017
135 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Rodovia BR-174. 2. erosão. 3. voçoroca. 4. impacto ambiental.
I. Vieira, Antonio Fábio Sabbá Guimarães II. Universidade Federal
do Amazonas III. Título



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
ICHL/DEGEO/Programa de Pós-Graduação em Geografia
Mestrado Conceito 4
Aprovado pela Resolução nº 009 – CONSUNI de 17/08/95
Credenciado pela CAPES em set/2000
Reconhecido através da Portaria Nº 1.077 - MEC, de 31 de agosto de 2012



Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do(a) Senhor(a) **DANIELA PAIVA CARVALHO**, aluno(a) do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Ciências Humanas e Letras da Universidade Federal do Amazonas, área de concentração em Amazônia: Território e Ambiente, realizada no dia **31 de março de 2017**.

Aos trinta e um dias do mês de Março de dois mil e dezessete, às quatorze e trinta horas, em dependências da Universidade Federal do Amazonas, realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado, intitulada “**OCORRÊNCIAS DE VOÇOROCAS (GULLIES) NA RODOVIA FEDERAL BR-174, TRECHO MANAUS-PRESIDENTE FIGUEIREDO (AM): GÊNESE, MORFOLOGIA E PREVISÃO DE RISCOS**”, sob orientação do(a) Professor(a) Doutor(a) **ANTONIO FÁBIO SABBÁ GUIMARÃES VIEIRA (PPGEOG/UFAM)**, do(a) aluno(a) **DANIELA PAIVA CARVALHO** em conformidade com o Art. 83 do Regimento Geral de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas, como parte final de seu trabalho para a obtenção do grau de **MESTRE EM GEOGRAFIA**, área de concentração em **AMAZÔNIA: TERRITÓRIO E AMBIENTE**. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professor(a) Doutor(a) **José Alberto Lima de Carvalho, Presidente (PPGEOG/UFAM)**, Professor(a) Doutor(a) **Mírcia Ribeiro Fortes (DEGEO/UFAM)** e o(a) Professor(a) Doutor(a) **Adorea Rebello da Cunha Albuquerque (PPGEOG/UFAM)**. O(A) Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão convidando os membros da Banca e o(a) Mestrando(a) a tomarem seus lugares. Em seguida, o(a) Senhor(a) Presidente informou sobre o procedimento do exame. A palavra foi facultada ao(a) Mestrando(a) para apresentar uma síntese do seu estudo e responder às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Após a apresentação e arguição pelos membros da Banca Examinadora, esta se reuniu onde decidiu, por unanimidade, que o(a) aluno(a) foi “**APROVIADA**...”. A sessão foi encerrada. Eu, Maria das Graças Luzeiro, Secretária do PPG-GEOG, lavrei a presente ata, que vai assinada por mim, pelos membros da Banca Examinadora e pelo(a) Mestrando(a). Manaus (AM), 31 de Março de 2017.

Banca Examinadora	Rubrica	Conceito
Prof(a) Dr(a) José Alberto Lima de Carvalho Presidente (PPGEOG/UFAM)		Aprovada
Prof(a) Dr(a) Mírcia Ribeiro Fortes Membro Titular (DEGEO/UFAM)		Aprovada
Prof(a) Dr(a) Adorea Rebello da Cunha Albuquerque Membro Titular (PPGEOG/UFAM)		Aprovada
 Daniela Paiva Carvalho Mestranda		
	 Maria das Graças Luzeiro Secretária do PPGEOG	

AGRADECIMENTOS

A Deus, tu és maravilhoso por ter me concedido a vida, por me abençoar, por me dar ânimo, força, sabedoria, fé, disposição, garra e pelas longas jornadas do trajeto de casa para faculdade e de Presidente Figueiredo para Manaus durante 7 anos de vida acadêmica.

À minha mãe Maristela Lúcia, por ser minha rainha, minha fonte de inspiração, crescimento intelectual e amor, sendo meu sinônimo maior de uma pessoa íntegra, correta, humilde, justa e obstinada. Sempre me apoiou a não desistir da Geografia; encarei o Mestrado e quem sabe, futuramente, o Doutorado. Dedico à senhora este desafio. Mesmo tendo que dedicar ao trabalho, não se esqueceu do primordial, educação, amor e dedicação aos seus filhos.

Ao meu pai Raimundo Alves, que apesar de não estar próximo a mim, sempre me destinou a não desistir dos meus sonhos.

Aos meus irmãos Adriana, Rodrigo e Marcela que me apoiaram diretamente às vezes me emprestando o dinheiro para passagem de ônibus, lanche, xerox. No começo da graduação foi difícil, mas Deus me abençoou com a vida deles. Às minhas sobrinhas, Alana e Vitória Letícia, presentes que meus irmãos Adriana e Rodrigo me deram, que me complementaram como pessoa, fazendo-me enxergar que ainda existe amor puro neste mundo, amor nas pequenas coisas, aprendi com elas a sorrir mais nas dificuldades.

À minha amiga, irmã, fiel companheira de campos, Miriliane Judite dos Santos Fernandes, sua amizade, alegria e parceria foram fundamentais nesta etapa, de verdade.

Aqueles que me auxiliaram e sem eles não seria possível ter ido a campo: Jânio Célio, pelas risadas e conversas no laboratório, Gabriele Santana, Valdenise Costa, Daniel Neto, Jean Campos e ao Francisco Weliton, por ter ido ao último campo e pela contribuição na parte das análises do solo.

Ao Prof. MsC. Deivison Carvalho Molinari, aquele que me norteou para a Geografia Física e me fez apaixonar por ela; meu espelho no que se refere à postura profissional com ética; mestre, cuja parceria rendeu trabalhos publicados, projetos de pesquisas, trabalhos de campos rentáveis, divertidos e árduos, mas hoje eu sei que foram para meu aprimoramento profissional e acadêmico. Devo muito a você enquanto geógrafa, e, a saber, explorar ainda mais o ambiente com olhar geográfico.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Vieira, “*teacher*”, como carinhosamente costumo chamá-lo, foi um pai, sempre afetuoso, parceiro, paciente, atencioso, às vezes, corrigindo com sua fala pacata, mas, ao mesmo tempo firme. Admiro sua conduta dentro e fora da universidade, sendo um professor íntegro e homem de família presente e responsável. Foram apenas dois anos de convivência como orientador e orientanda, mas, espero ter aprendido que em qualquer coisa que fizermos precisamos estar embasados corretamente.

Aos meus amigos do Ministério Orquestra da Nova Igreja Batista (NIB) pelo apoio e encorajamento, louvo a Deus por tê-los conhecido e por terem se tornado minha nova família.

A Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia, especialmente a dona Graça Luzeiro, por sempre ter sido prestativa e cordial.

Aos meus colegas de Mestrado e aos professores do Programa, a Profa. Dra. Adoréa Rebello, pelas conversas, indicações de bibliografias e apoio prestado durante essa fase; ao Prof. Dr. José Alberto, pelas contribuições quanto à leitura e neste trabalho e ao Prof. Dr. João Cândido pelo apoio na confecção de alguns mapas; aos demais professores, agradeço pelas aulas, experiências vividas e pelo conhecimento adquirido. À Teacher Hevanna Lima por ter me auxiliado a revisar o *Abstract*.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo que foi um dos elementos fundamentais para a execução desta pesquisa.

Agradeço também aqueles que sempre me deram força, me auxiliaram direta e indiretamente nesse período, muito obrigada, pois seus incentivos não foram em vão.

Então você entenderá o que é temer o Senhor e achará o conhecimento de Deus. Pois o Senhor é quem dá sabedoria; de sua boca procedem o conhecimento e o discernimento (Bíblia sagrada: NVI (Nova Versão Internacional). Provérbios 2: 5-6).

RESUMO

A análise do processo erosivo é de grande importância na manutenção das características do solo e seu ambiente. Diante disso, este trabalho teve como objetivo principal mapear as voçorocas da rodovia federal BR-174, no trecho compreendido entre Manaus e a sede do município de Presidente Figueiredo. Apresentou como objetivos específicos: a caracterização da morfometria das voçorocas, descrição dos aspectos ambientais e degradações na rodovia e previsão dos riscos das incisões até atingir a pista. Para isto, utilizou-se a seguinte metodologia: 1) levantamento de dados cartográficos e revisão da bibliografia; 2) interpretação dos produtos (imagens de satélites); 3) levantamento de campo e 4) apresentação final dos resultados. Realizaram-se dois monitoramentos em campo, por meio de GPS, trena, bússola e fichas cadastrais, sendo observados os aspectos quanto à forma, tipo e tamanho das incisões (largura, comprimento e profundidade); caracterização das formações geológicas e da geomorfologia. Quanto aos aspectos do solo foram coletadas amostras por meio de tradagens – com posterior análise em laboratório das características físicas do solo, realizado também testes de infiltração e penetração. Foram utilizados parâmetros para a elaboração da previsão do risco erosivo. Os resultados obtidos nos monitoramentos permitiram afirmar que 21 incisões se encontram no trecho compreendido entre os km 5,3 e 56,1. Localizada no km 5,3, a Voçoroca 01 apresentou o maior comprimento (159,0m) de extensão mas isso não se configurou na maior em área, pois apresentou 2,067 m², enquanto que a Voçoroca 15 do km 45, equivalente alcançou 6.360,31 m². Das 21 voçorocas, 5 apresentaram volume erodido até 999m³, classificadas como muito pequenas; 11 volume erodido entre 1.000m³ e 9.999m³, classificadas como pequenas, 3 apresentaram volume erodido entre 10.000m³ e 19.999m³, classificadas como médias; 2 variaram entre 20.000m³ e 40.000m³, consideradas grandes. Ao todo 8 voçorocas apresentaram risco a médio prazo e 13 voçorocas com risco a longo prazo. Inúmeros fatores corroboram para o surgimento das incisões erosivas, sendo os antrópicos: pavimentação da rodovia, manutenção ineficaz das voçorocas contidas, sistemas de drenagens pluviais mal dimensionadas, origem das voçorocas a partir da exposição do horizonte C oriundo de obras pela terraplanagem; naturais: declividade do terreno, geomorfologia local e a susceptibilidade do solo à erosão, desencadeando assim, o surgimento das incisões.

Palavras-chave: Rodovia BR-174, erosão, voçoroca, impacto ambiental.

ABSTRACT

The analysis of the erosive process is of great importance in maintaining the characteristics of the soil and its environment. Therefore, this work has as main objective to map the gullies of the BR-174 federal highway, in the stretch between Manaus and the municipality of Presidente Figueiredo. Its specific objectives are: characterization of the gully morphometry, description of environmental aspects and degradations in the highway and prediction of the risks of the incisions until reaching the runway. In this regard, the following methodology was used: First, cartographic data collection and literature review, product interpretation (satellite images), field survey and final presentation of the results. Two field surveys were carried out by GPS, tape measure, compass and registration records, observing the aspects regarding the shape, type and eroded volume of the incisions (width, length and depth); characterization of geological formations and geomorphology. When it comes to soil aspects, samples were collected through depths of up to 1.50 meter depth, infiltration and penetration tests and subsequent laboratory analysis of soil physical characteristics. Parameters were used for the elaboration of erosion risk prediction. The results found in the monitoring allowed to affirm that 21 incisions are in the stretch comprised between kilometer 5,3 and 56,1. Located at kilometer 5.3, the gully number 01, registred with the longest length of 159.0 meters, the width of 13.00 meters and depth of 10.00 meters, it is not relatively larger in the 2,067 m² area when compared to the larger incision by area: the gully number 15 in kilometer 45 equivalent to 6,360.31 m². Both are proportionally equal in length, but in terms of area and volume eroded are different. Considering the 21 gullies, 5 presented eroded volume to 999m³; 11 presented eroded volume between 1,000m³ and 9,999m³, classified as small, 3 are medium size, between 10,000m³ and 19,999m³; 3 are large size, between 20,000m³ and 40,000m³. A total of 8 gullies presented medium-term risk and 13 gullies with long-term risk. Several factors corroborate the emergence of erosive incisions: anthropic (road paving, ineffective maintenance of gullies), poorly sized rainfall drainage systems, not taking into account intense periods of precipitation in the study area, causing degradations, such as silting up streams. It was also considered, as regards the highway construction project, the correct technical specification for revegetation of the slopes and the local geomorphology itself, being these potentiators of the erosive process emergence.

Keywords: BR-174 highway, erosion, gully, environmental impact.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
1 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
1.1 Análise ambiental.....	18
1.2 Impacto ambiental.....	18
1.3 Degradação ambiental.....	21
1.4 Sistema de drenagem.....	21
1.5 Erosão.....	22
1.5.1 Fatores controladores da erosão dos solos.....	24
1.5.2 Agentes causadores.....	27
1.5.3 Erosão em rodovias.....	27
1.6 Sulcos.....	28
1.7 Ravinas.....	29
1.8 Voçorocas.....	30
1.8.1 Classificação das voçorocas quanto ao tipo e forma.....	31
1.8.2 Classificação das voçorocas quanto ao tamanho e volume(m ³).....	32
1.9 Feições erosivas.....	34
1.9.1 Pedestais ou <i>Demoiselles</i>	34
1.9.2 Alcovas de regressão.....	35
1.9.3 Sulcos verticais.....	36
1.9.4 Escamamentos.....	37
1.9.5 Caneluras.....	38
1.9.6 Costelas e depressões.....	38
1.9.7 Movimentos de massa (<i>landslides</i> ou <i>mass movements</i>).....	40
2 ÁREA DE ESTUDO.....	41
2.1 Localização.....	41
2.2 Aspectos físicos.....	46
2.2.1 Estrutura geológica.....	46
2.2.2 Geomorfologia.....	52
2.2.3 Clima.....	55
2.2.4 Solos.....	55
2.2.5 Vegetação.....	59
2.2.6 Hidrografia.....	61
3 MATERIAL E MÉTODO.....	65
3.1 Método e Procedimentos Metodológicos.....	65
3.2 Caracterização da morfometria das voçorocas.....	67
3.3 Aspectos ambientais.....	70
3.3.1 Características físicas do solo.....	71
3.3.2 Capacidade de infiltração do solo.....	73
3.3.3 Penetração do solo.....	74

3.3.4	Densidades: (<i>Da</i>) e (<i>Dr</i>)	75
3.4	Degradações na rodovia.....	77
3.5	Previsão de risco dos pontos com voçorocamento.....	82
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	84
4.1	Caracterização da morfometria das voçorocas.....	85
4.2	Aspectos ambientais.....	91
4.3	Degradações ambientais encontradas na rodovia.....	108
4.4	Previsão de risco erosivo dos pontos com voçorocamento.....	115
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	
6	REFERÊNCIAS.....	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Representação do conceito de impacto ambiental.....	19
Figura 02	Seta amarela indica formação de sulcos às margens da rodovia, km 34, BR-174.....	29
Figura 03	Ravina em borda de incisão contida, seta amarela indicada, km 19, BR-174...	30
Figura 04	Tipos de voçorocas.....	31
Figura 05	A) Voçoroca do tipo I (conectada); B) voçoroca do tipo II (desconectada), km 56,1 e C) voçoroca do tipo III (integrada), km 56,6, BR-174.....	32
Figura 06	Formas das voçorocas.....	33
Figura 07	Pedestais indicadas por setas amarelas em voçoroca do tipo conectada, km 42, BR-174.....	35
Figura 08	Seta indica alcova de regressão em voçoroca, km 42, BR-174.....	36
Figura 09	Voçoroca com formação de alcova de regressão oriunda da formação de erosão por queda d' água (<i>plunging pool</i>), km 42, BR-174.....	36
Figura 10	Sulcos verticais em voçoroca, km 37, BR-174.....	37
Figura 11	Escamamentos no interior de voçoroca do tipo conectada, km 06, BR -174....	37
Figura 12	Seta indica caneluras na parede de voçoroca, km 52, BR-174.....	38
Figura 13	Costelas (seta indicando a formação no interior de voçoroca), km 34, BR-174.....	39
Figura 14	Seta e linha amarela indicando movimentos de massa em interior de incisão, km 42, BR-174.....	40
Figura 15	Movimentos de massa em interior de incisão, indicadas por seta e linha amarela, km 27,5, BR-174.....	40
Figura 16	Mapa de localização da área de estudo.....	42
Figura 17	A BR-174 em construção (1979).....	43
Figura 18	Mapa – Programa de Construção de Estradas pela Amazônia.....	44
Figura 19	Trecho da BR-174 em construção (1977).....	45
Figura 20	Mapa representando Porção Norte: Cráton Amazônico e Porção Sul: Borda da Bacia Sedimentar do Amazonas.....	47
Figura 21	O fundo do mar paleozoico.....	49
Figura 22	Relevo, km 85, BR-174.....	50
Figura 23	Geologia da região BR-174.....	51
Figura 24	Relevo ondulado, km 28, BR-174. Município de Manaus-AM.....	52
Figura 25	Relevo, km 105, BR-174, próximo à sede de Pres. Figueiredo.....	53
Figura 26	Geomorfologia da região da BR-174.....	54
Figura 27	Solos.....	56
Figura 28	Vegetação.....	60
Figura 29	Vegetação correspondida de Manaus a Boa Vista.....	61
Figura 30	Hidrografia.....	62
Figura 31	Mapa dos principais lineamentos e cotovelos da área.....	63
Figura 32	Mapa das Bacias Hidrográficas. Voçorocas estão representadas pelos pontos amarelos.....	64
Figura 33	Fatores controladores do surgimento de voçorocas.....	65
Figura 34	Fluxograma das etapas por objetivos.....	66
Figura 35	Monitoramento morfométrico de voçoroca, Km 56,4, BR-174.....	68
Figura 36	Modelo de ficha cadastral de voçorocas.....	69
Figura 37	Coleta de solos através de tradagem.....	71

Figura 38	Quarteador utilizado.....	72
Figura 39	Amostras de argila em decantação.....	72
Figura 40	Triângulo de classe textural.....	73
Figura 41	Infiltrômetro.....	74
Figura 42	Penetrômetro.....	75
Figura 43	Composição de preço unitário de valeta de proteção de aterro.....	80
Figura 44	Distribuição das subáreas classes A, B e C.....	81
Figura 45	Voçorocas no trecho da pesquisa.....	84
Figura 46	(A): Topossequência e pontos de tradagem (T1 e T2), (B) Local da Topossequência e (C) Perfil de elevação da área.....	92
Figura 47	Perfil de solo, Ponto de tradagem (T1).....	94
Figura 48	Perfil do solo – Ponto de tradagem T2.....	96
Figura 49	A) Imagem em perfil através de talude na rodovia; (B) Voçoroca e (C) Solo encrostado em uma das bordas da incisão (Borda direita).....	97
Figura 50	Perfil do solo – Ponto de tradagem T2.....	98
Figura 51	Perfil esquemático do solo.....	103
Figura 52	Pirâmide textural com porcentagens das amostras.....	104
Figura 53	Modelo esquemático da ocorrência de voçoroca na BR-174.....	105
Figura 54	Ciclo de impacto sinérgico referente na rodovia.....	105
Figura 55	Voçorocas BR-174. A) km 27,5; B) km 51,6.....	106
Figura 56	Modelo digital de elevação do terreno.....	106
Figura 57	Perfil esquemático com pontos da localização das voçorocas.....	107
Figura 58	Mapa de declividade.....	109
Figura 59	Materiais espólicos (restos de construção como canaletas de concreto) no interior de voçoroca. A) km 27,5; B) km 42, BR-174 e (C) restos de partes das canaletas.....	110
Figura 60	A) Voçoroca vista em todo o ambiente; (B) Meio-fio em detalhe e (C) Dimensionamento do canteiro projetado (DNIT, 2006).....	111
Figura 61	A) Projeto de dissipador contínuo (DNIT, 2006); (B) Voçoroca com vale principal e (C) Disposição de dissipador contínuo em incisão, km 34, BR-174.....	112
Figura 62	A: Voçoroca conectada ao vale principal, Ao fundo, igarapé assoreado, km 42, BR-174; (B): Setas indicam duas bifurcações à montante da incisão, km 42, BR-174.....	113
Figura 63	Voçoroca Km 42, BR-174, na subárea Classe A da faixa de domínio (rodovia).....	114
Figura 64	A) Escorregamento translacional, km 19; (B) Trecho de canal assoreado, km 37 e (C) drenagem assoreada às margens da pista. Parte de contenção, km 62, BR-174.....	115
Figura 65	Voçoroca 4, km 12,1, BR-174. Seta indica alcova de regressão formada por escoamento superficial, resultando no desmoronamento no interior da incisão.....	117
Figura 66	Voçoroca 9, km 37 (A), BR-174. Seta vermelha indica distância de 2,70m.....	117
Figura 67	Voçoroca 10, km 37 (B), BR-174. Seta vermelha indica canaletas de concreto próxima à cabeceira (margem esquerda da pista) e distância para rodovia.....	118
Figura 68	Voçoroca 13, km 43,5.....	118
Figura 69	Voçoroca km 43,5.....	119

LISTA DE GRÁFICOS

01	Volume erodido.....	88
02	Tipos das voçorocas monitoradas.....	89
03	Formas das voçorocas.....	89
04	Comprimento das incisões.....	90
05	Largura das voçorocas.....	90
06	Profundidade em metros das incisões.....	91
07	Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia (T1).....	94
08	Taxa de infiltração, ponto de tradagem (T1).....	95
09	Resistência do solo – Ponto de tradagem (T1).....	95
10	Distribuição dos valores (%) de Argila, Silte e Areia, ponto de tradagem (T2).....	96
11	Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia.....	99
12	Taxa de infiltração na voçoroca Km 34 - Ponto BR 3.....	100
13	Resistência do solo – Ponto de tradagem (BR3 - T3).....	100
14	Declividade do terreno das voçorocas.....	109

LISTA DE QUADROS

01	Classificação das voçorocas por tamanho (por m ³).....	34
02	Escala de risco erosivo.....	83
03	Distâncias para pista de cada incisão.....	116

LISTA DE TABELAS

01	Caracterização geomorfológica na Rodovia BR-174 (Porção Sul).....	50
02	Níveis de penetração quanto à resistência do solo.....	75
03	Síntese dos impactos potenciais no sistema geomorfológico associados às intervenções de rodovias.....	79
04	Características das voçorocas monitoradas.....	86
05	Volume médio do monitoramento 1.....	87
06	Volume médio do monitoramento 2.....	87
07	Amostragem de solo – (T1).....	94
08	Amostragem de solo – ponto de tradagem (T2).....	97
09	Amostragem de solo – ponto de tradagem (T3).....	98
10	Análise da amostra BR 1.....	101
11	Análise da amostra BR 2.....	102
12	Análise da amostra BR 3- Km 34.....	102
13	Descrição da vegetação.....	108
14	Variações de declividade.....	108
15	Tipos de materiais.....	110
16	Especificações de medidas atenuantes para impactos imediatos.....	113
17	Tipos de revegetação em classe A.....	114

SIGLAS

- ANEOR** – Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias
- BEC** – Batalhão de Engenharia de Construção
- CPRM** – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
- CTC** – Capacidade de troca de cátions
- DNER** – Departamento de Estradas de Rodagem
- DNIT** – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
- DVT** – Diretoria de Vias de Transportes
- EMBRAPA** - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
- FUNAI** – Fundação Nacional do Índio
- IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de São Paulo
- IPT** – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
- ISO** – *International Organization for Standardization*
- LATOSSOLO** – Laboratório de Tratamento de solos
- MMA** – Ministério do Meio Ambiente
- MDE** - Modelo Digital de Elevação
- NBR** – Normas brasileiras
- PIN** – Programa de Integração Nacional
- RADAMBRASIL** – Projeto Radar da Amazônia
- SEMMAS** – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Manaus
- SEMEF** – Secretaria Municipal de Finanças de Manaus
- SRTM** – *Shuttle Radar Topography Mission*
- SUDAM** – Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia
- SUDENE** – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
- SUFRAMA** – Superintendência da Zona Franca de Manaus
- TFSA** – Terra Fina Seca ao Ar
- TGS** – Teoria geral de sistemas
- UFAM** – Universidade Federal do Amazonas
- USDA** – *United States Department of Agriculture*

INTRODUÇÃO

Os estudos ambientais são de fundamental importância para o entendimento dos espaços naturais e das alterações desencadeadas pela ocupação humana, que possibilitaram ao longo do tempo a geração de desequilíbrios com um aumento na fragilidade dos ecossistemas.

Segundo Guerra (1999), os desequilíbrios ambientais originam-se, muitas vezes, da visão setorializada dentro de um conjunto de elementos que compõem a paisagem. Os problemas de degradação têm causas e consequências sociais, desta forma, não podem ser entendidos apenas por meio dos aspectos físicos.

Em muitos casos o homem surge como agente principal indutor dos eventos erosivos. Algumas intervenções são cruciais para o desencadeamento das formas de erosão, como os cortes de estradas, deposição de material em encostas, culturas implantadas em locais inapropriados como encostas, dentre outros. As estradas são um dos tipos de intervenção de maior impacto no meio ambiente (SILVA e GUERRA, 2015).

As estradas são consideradas intervenções na paisagem que causam grandes modificações nos ambientes naturais e associadas a elas existem problemas ligados tanto às questões ambientais quanto às questões socioeconômicas (GUERRA, 1999).

A erosão é responsável por grande parte dos problemas que ocorrem ao longo das rodovias, principalmente, quando se formam ravinas ou voçorocas (IPT, 1991). Rocha e Silva (2014) atestam que diversas intervenções visavam integrar a Amazônia ao sul do país através da abertura de rodovias e projetos de colonização. Nesse contexto, em 1970 foi criado o PIN – Programa de Integração Nacional, que propunha a implantação de redes de integração espacial, com a construção de eixos rodoviários, a exemplo, a rodovia federal BR 174.

Nas estradas da Amazônia é comum observar o surgimento de incisões erosivas diretamente relacionadas a sistemas de drenagem pluvial, os quais resultam principalmente de falhas na concepção inicial do projeto ou na instalação destes (VIEIRA e ALBUQUERQUE, 2004; VIEIRA e MOLINARI, 2005).

Um exemplo é rodovia BR-174, onde a transformação da geomorfologia local expôs a fragilidade dessa paisagem, tornando-a área de estudo de importantes pesquisas já realizadas nesta. Como a realizada em 2013, quando foram cadastradas 21 incisões do tipo voçorocas no trecho até Presidente Figueiredo (CARVALHO, 2013).

Segundo os trabalhos realizados referentes à ocorrência de voçorocas na rodovia federal BR-174, bem como os surgimentos e intervenções nestes locais corroboram para inclusão do trecho Manaus-Presidente Figueiredo como área de estudo para este trabalho.

Através de investigação das feições e das modificações na paisagem da rodovia BR-174, como as alterações principalmente no aspecto geomorfológico, podem contribuir no entendimento dos fatores controladores antrópicos e naturais, onde há pouca análise dos mesmos para influência de ocorrência de processos erosivos, e conseqüentemente de voçorocas.

Com isto, percebe-se uma característica marcante, o traçado da rodovia quase que retilíneo. Em função disso, evidenciam-se processos de voçorocamento¹, além de movimentos de massa e assoreamento de canais, em consequência da construção, cujo trajeto não obedeceu às curvas de nível, cortando os divisores de água.

Entretanto, é necessário levantar questionamentos, como: Será que a gênese das voçorocas possui relação com o relevo transformado? As características do solo contribuem para a ocorrência dos processos erosivos e conseqüentemente de voçorocas? A morfometria das incisões e os traçados da via contribuem para a “descharacterização” da paisagem?

Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo principal mapear as voçorocas ao longo da Rodovia Federal BR-174, no trecho compreendido de Manaus até a sede do município de Presidente Figueiredo. Foram constituídos objetivos específicos para a obtenção de respostas dos questionamentos, sendo estes:

- 1) Caracterizar a morfometria das voçorocas;
- 2) Descrever os aspectos ambientais da rodovia;
- 3) Descrever as principais degradações encontradas na rodovia e
- 4) Caracterizar o risco erosivo dos pontos com voçorocamento.

¹Em trabalho realizado por Vieira e Albuquerque (2004) e Vieira et al. (2005) foram cadastradas 31 voçorocas entre a cidade de Manaus (km 01) e o município de Presidente Figueiredo (km 107) a BR – 174. Posteriormente, foram cadastradas somente 24 voçorocas (CARVALHO, 2013) o que significa que 7 do total anterior foram recuperadas pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. Segundo os autores, a causa principal para o surgimento dessas feições erosivas foi o escoamento superficial concentrado promovido pelas canaletas de escoamento pluvial nas laterais da estrada.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Análise ambiental:

Tauk-Torniselo et al. (1995) discorrem que é fundamental a utilização dos conceitos de cenários ambientais, temporal e, especialmente, distintos, de modo a que se proceda à avaliação entre situações concretas e potenciais diversos. A partir disso, este conceito ligado à descrição do ambiente torna-se essencial para a caracterização desta pesquisa.

Apesar da significativa importância dada aos problemas físicos, explícita ou implicitamente, a análise ambiental trata de problemas relacionados com impactos ou com conservação de unidades vivas, que variam em níveis de organização, desde populações até ecossistemas (FOWLER e AGUIAR, 1995). Partindo da análise dos elementos que envolvem à temática ambiental, inclui-se o impacto que este exerce sobre o meio.

1.2 Impacto Ambiental

Conceitua impacto ambiental, segundo a Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 01/86, art. 1º como:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, p. 66).

Diversos autores abordam que o impacto ambiental ocorre através de uma série de fatores que implicam na destruição do meio físico de modo negativo. Segundo Guerra e Guerra (2008) trata-se de uma expressão utilizada para caracterizar uma série de modificações causadas ao meio ambiente, influenciando na estabilidade dos ecossistemas, podendo comprometer a fauna, flora, lagos, solos e a qualidade de vida do ser humano. Portanto, com vistas ao impacto em rodovia considera-se a influência do processo erosivo como sendo agente ativo da instabilidade em trechos da estrada.

Os impactos ambientais ocasionados em estradas para Ross (1996) com base nos seus estudos em levantamentos geomorfológicos, cujo mesmo reforça a inclusão dos estudos

sobre erosão citando que: “a análise de relevo deve conduzir à classificação das formas de relevo quanto à sua fragilidade potencial e emergente, procurando-se identificar problemas de erosão e assoreamento, inundações, instabilidade dos terrenos nas vertentes muito inclinadas, instabilidade dos terrenos planos”. Diante desta análise proposta pelo autor acerca do impacto ambiental, há ainda vários outros conceitos descritos quase todas largamente concordantes quanto aos elementos básicos, embora formuladas de diferentes maneiras. Alguns exemplos são:

1. Qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes – provocada por uma ação humana (MOREIRA, 1992);
2. O efeito sobre o ecossistema de uma ação induzida pelo homem (WESTMAN, 1985);
3. A mudança em um parâmetro ambiental, num determinado período e numa determinada área, que resulta de uma dada atividade, comparada com a situação ocorreria se essa atividade não tivesse sido iniciada (WATHERN, 1988).

Uma definição adotada por Wathern (1988) e adaptada por Sánchez (2014) adotada neste trabalho, demonstrada na (Figura 01), a característica de introduzir a dimensão dos processos do meio ambiente como base de entendimento das alterações ambientais denominadas impactos.

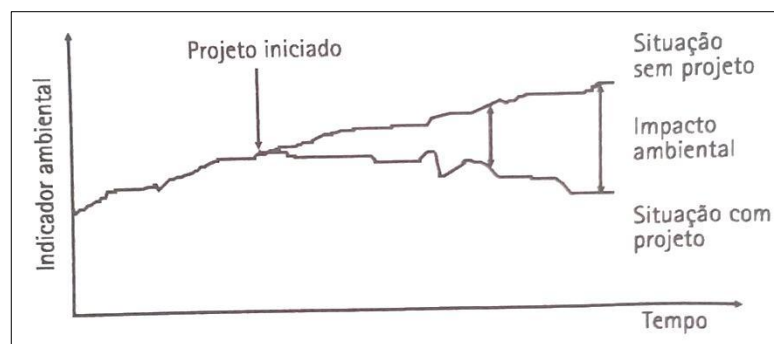


Figura 01: Representação do conceito de impacto ambiental.
Adaptado de Sánchez (2014).

Outra definição é dada pela norma NBR ISO 14.001: 2004 (versão atualizada da primeira norma ISO 14.001, de 1996. Aqui é reproduzida a tradução oficial brasileira da norma internacional): “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que

resulta, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização” (item 3.4 da norma).

De acordo com Meneguzzo e Chaicouski (2010), o termo impacto ambiental apesar de ser amplamente empregado para referir-se aos aspectos negativos decorrentes de ação antrópica, pode possuir conotação positiva. Isto ocorre devido ao fato de que um impacto pode ocorrer na forma negativa como na forma positiva, isto é, trazer malefícios ou benefícios, respectivamente.

Goudie (1985) também descreve que impacto ambiental é a mudança sensível, positiva ou negativa, nas condições de saúde e bem-estar das pessoas e na estabilidade do ecossistema, cujo essas mudanças podem resultar de ações acidentais ou planejadas, provocando ações direta ou indiretamente.

Dentro deste contexto, o termo adotado por Sánchez (2014), empregado nesta pesquisa é alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana, tendo em vista o caráter dinâmico do ambiente. Portanto, a aplicação chave deve ser que impacto ambiental é o resultado da ação humana, que é a sua causa. O autor aponta que uma rodovia não é um impacto ambiental, uma rodovia causa impactos ambientais.

Uma das maneiras de se estudar os impactos ambientais é entender como as ações humanas afetam os processos naturais. Exemplo disso são os processos erosivos, sendo este um fenômeno que afeta toda a superfície da Terra. Sánchez (2014), ainda, pontua que a ação humana interfere no processo erosivo, tornando-o mais intenso, como a abertura de uma estrada, que é uma das ações que expõe o solo desprovido de sua proteção vegetal à ação da chuva, aumentando as taxas de erosão.

Para este trabalho, entende-se que impacto ambiental é o resultado de qualquer atividade sobre o meio ambiente, podendo inclusive ser positivo ou negativo. Desta forma, como resultado de intervenções humanas ou outros acontecimentos, ocorrem impactos sobre o ambiente e este acúmulo, em maior ou menor tempo, dependendo da intensidade, podendo levar à degradação ambiental.

1.3 Degradação ambiental

Este termo usual na literatura científica atual expressa conotação negativa, relacionada à modificação no ambiente. O agente causador da degradação tem como origem a

atividade antrópica (homem). Assim, Johnson (1997) prediz que os processos naturais não degradam ambientes, apenas causam mudanças.

A degradação ambiental resulta da ação do homem sobre o meio, sem respeitar os limites impostos pela natureza, sendo mais ampla que a degradação dos solos, pois, envolve não só a erosão dos solos, mas, o assoreamento e outros impactos prejudiciais ao ambiente e ao próprio homem (GUERRA e GUERRA, 2008).

Sánchez (2014) afirma que o termo “degradação” engloba o termo “poluição”, exemplificando a situação quando considera, por exemplo, que o termo “degradação do solo” significa a ocorrência de alterações negativas das propriedades físicas do mesmo, tais como sua estrutura ou grau de compactidade, a perda de matéria devido à erosão e a alteração de características químicas devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e introdução de poluentes. Em outras palavras, degradação ambiental refere-se a qualquer estado de alteração de um ambiente e a qualquer tipo de ambiente.

Para Guerra e Jorge (2014) diversos são os fatores causadores da degradação do solo, atuando de forma direta ou indireta, mas, quase sempre a grande maioria das terras degradadas inicia esse processo com o desmatamento, que pode ser seguido por diversas formas de ocupação desordenada, como: rodovias e crescimento desordenado das cidades.

De acordo com a Política Nacional de Meio Ambiente, artigo 3, inciso II, o seguinte conceito alusivo ao termo degradação ambiental: “degradação da qualidade ambiental e a alteração adversa das características do meio ambiente” (BRASIL, 1981).

Apesar de abrangente, o conceito explicita que a degradação ambiental se apresenta com um caráter de adversidade, ou seja, negatividade. Outro aspecto referente a este conceito diz respeito a quem causa a degradação ambiental (MENEGUZZO e CHAICOUSKI, 2010).

A erosão dos solos causa impactos ambientais, degradação, provoca problemas ambientais que afetam corpos hídricos, assim como pode afetar estruturas construídas como os sistemas de drenagens pluviais que tem como função captar e direcionar as águas das vias de acesso (rodovias, estradas, avenidas, etc.).

1.4 Sistema de drenagem

Construções de obras civis (estradas, rodovias) requerem planejamento não somente no projeto inicial, sobretudo, na execução. Fendrich et al (1984) relacionam que através da abertura de estradas, sem o devido cuidado na execução das necessárias obras de drenagem

para coletar, transportar e restituir as águas captadas e acumuladas, e, sobretudo, a ampliação das áreas construídas e pavimentadas aumentam o volume e velocidade das águas pluviais, não dissipadas, acelerando assim o surgimento de processos erosivos.

Bigarella et al. (2007) destacam que o sistema de proteção contra a erosão nas estradas consiste em um sistema de canais e estruturas, que possuam capacidade suficiente para remover as águas pluviais, que caem sobre a pista e obras complementares da rodovia. Para este sistema os autores salientam que é recomendado tipos de canais interceptadores, canais de plataforma, canais de pé-de-talude, banquetas, caixas de queda e dissipadores de energia para evitar que a velocidade da água cause a erosão.

O sistema de drenagem deve obedecer às regras usuais de materiais filtrantes, de modo a não haver carregamento de finos do interior da massa de solo. A não obediência à observância dessa regra é fator de muitos insucessos (BRASIL, 2006). Em consonância com esta afirmativa a que resultaria desses prejuízos são sérias erosões internas, terminando em colapso de estradas ou do terreno a montante.

O sistema de drenagem pluvial contra a erosão nas estradas basicamente consiste em um sistema de canais e estruturas, que possuem capacidade suficiente para remover as águas pluviais que caem sobre a pista e obras da rodovia e conduzam a drenagem interceptada pelas obras (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

Caso o funcionamento do sistema de drenagem não seja eficiente causará danos à rodovia, que são: rompimento de aterros, entupimento de bueiros, queda de pontes, diminuição da estrutura de pavimento, variação de volumes de solos mais expansivos, destruição do pavimento pela pressão hidráulica e escorregamento e erosão de taludes, ocasionando no surgimento de processos erosivos (CANHOLI, 2005).

1.5 Erosão

A erosão, ou seja, a erosão hídrica que é causada pela água das chuvas, é identificada como a principal causa do empobrecimento do solo. De acordo com Guerra (1999), ação do *splash* ou erosão por salpicamento é o estágio inicial do processo erosivo, onde as partículas do solo serão transportadas através do escoamento superficial. Horton (1945) salienta que o processo erosivo na superfície do solo está ligado, sobretudo, ao destacamento do material, transporte ou remoção do material erodido, neste caso por meio de escoamento em lençol (*sheet flow*) e por sedimentação. Ruhe (1975) aborda que neste processo, a estrutura do solo é

destruída pelo impacto da chuva por erosão por salpicamento ou *splash* que atinge a superfície do terreno e, em seguida o material solto, é removido do local, sendo transportado pelo escoamento superficial. Para os autores citados, o material é depositado nas depressões no interior das vertentes e no fundo dos vales, porém, Horton (1945) discorre que não havendo a deposição o material é transportado para o canal próximo.

Para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (1991) entende-se por processo erosivo a destruição da estrutura do solo e sua remoção, onde este processo pode ser intensificado pela intervenção do homem, acelerando em determinado índice de degradação.

Deste modo, a erosão do solo é um processo natural, porém, devido às práticas de manejo inadequadas o solo pode ser esgotado. A ocupação humana, geralmente, iniciada pelo desmatamento e seguida pelo cultivo da terra, a construção de estradas, criação e expansão de cidades, sobretudo, quando efetuada de modo inadequado exercem um papel importante na origem e aceleração dos processos erosivos.

A erosão dos solos tem causas relacionadas à própria natureza, como a quantidade e distribuição das chuvas podendo ter seus efeitos ampliados por algum evento episódico (por exemplo, fortes chuvas), a declividade, o comprimento e forma nas encostas, as propriedades químicas e físicas dos solos, o tipo de cobertura vegetal e também à ação do homem, como o uso e manejo da terra que na maioria das vezes, tende a acelerar o processo erosivo (GUERRA e MENDONÇA, 2004; VIEIRA, 2008).

Em geral, distinguem-se duas formas de abordagem para os processos erosivos: uma que considera a erosão “natural” ou “geológica”, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e outra que trata da erosão cuja intensidade, não permite a sua recuperação natural.

O processo erosivo causado pelas águas das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são 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. O processo tende a se acelerar a medida que mais terras são desmatadas para a exploração de madeira e/ou para a produção agrícola, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal e, conseqüentemente as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno (GUERRA, 1999).

Contudo, aborda-se pelo fato da erosão acelerada ser uma das causas da perda dos solos decorrente da ação das águas da chuva. Para isto, o conceito de erosão, a ser adotado

neste trabalho, elaborado por Guerra e Cunha (2008b), compreende que estes levam a uma descaracterização do meio físico, os quais são dependentes de fatores como: condições topográficas, características do solo, tipo de vegetação e uso e manejo do solo.

1.5.1 Fatores controladores da erosão dos solos

Os fatores controladores são aqueles que determinam as variações nas taxas de erosão, sendo: erosividade da chuva, erodibilidade (proporcionada pelas propriedades do solo), cobertura vegetal, características da encosta; e, a intervenção do homem que pode alterar, retardar ou acelerar esses fatores (GUERRA e CUNHA, 2008b).

- **Erosividade**

Segundo Guerra (1994) é a habilidade da chuva em causar erosão e é determinada pela energia cinética (energia resultante do movimento translacional de um corpo), logo, a energia cinética de uma chuva é significativa para a erosão, pois, envolve gasto de energia para a ruptura dos agregados e para o *splash* (salpicamento) de partículas.

A maior ou menor erosividade depende, não apenas da intensidade da chuva, mas também, da quantidade total de chuva, precipitada em uma determinada área, considerando o tempo de cada evento chuvoso (GUERRA e GUERRA, 2008).

A erosividade da chuva também denominada “agressividade climática” é relacionado mais com a intensidade da chuva do que com sua quantidade total; chuvas de baixa intensidade são compostas mais de gotas pequenas caindo com velocidade baixa, portanto, tem uma energia cinética pequena (LEPSCH, 2011).

- **Erodibilidade**

Lal (1988) aborda que 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.

Guerra e Cunha (2008a) assinalam que as propriedades do solo são importantes na determinação em maior ou menor susceptibilidade à erosão e é definida como sendo a resistência do solo em ser removido e transportado. Lepsch (2011) ressalta que é basicamente uma função da estabilidade da estrutura do solo e sua capacidade de infiltração, como

exemplo, ele aponta que os cultivos excessivos (aração²) podem fazer o solo ficar com agregados estáveis e superfície desnuda, aumentando a força erosiva da enxurrada.

Dentre as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade destacam-se: teor de areia, silte e argila, a densidade aparente e real, a porosidade, o teor e a estabilidade de agregados, o teor de matéria orgânica e o pH dos solos (GUERRA e GUERRA, 2008).

Logo, para este trabalho adotou-se o conceito descrito por Vieira (2008), cuja erodibilidade do solo é a susceptibilidade que os solos têm de ser erodidos, com as propriedades do solo facilitando ou dificultando a ação da energia cinética das águas das chuvas e do escoamento superficial.

- **Cobertura vegetal**

É a defesa natural de um terreno contra a erosão. Salomão (1999, p. 31) destaca os principais efeitos da cobertura vegetal:

- a) Proteção contra o impacto direto das gotas de chuva;
- b) Dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;
- c) Aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes;
- d) Aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

A cobertura vegetal, além de influenciar na interceptação das águas da chuva, atua, também, de forma direta na produção de matéria orgânica, que por sua vez atua na agregação das partículas constituintes do solo. Atua no controle da erosão de três maneiras: agindo sobre o *runoff*; balanço hidrológico e variações sazonais da interceptação (GUERRA e CUNHA, 2008b). Essa conceituação empregada neste trabalho relaciona ainda que a falta da cobertura vegetal, concomitantemente, com um elevado gradiente topográfico torna uma área extremamente susceptível à erosão dos solos, pois, a ausência de vegetação nessas áreas causa um aumento da velocidade do escoamento da água, aumentando a competência para o transporte de sedimentos.

Bastos e Freitas (2015) abordam que a textura e a estrutura do solo são propriedades que influenciam expressivamente a infiltração e a ausência de cobertura vegetal dificulta a infiltração da água pluvial no solo, provocando ravinamentos e voçorocas. Sem a “proteção”

² Processo que revolve a terra com o objetivo de descompactá-la. Quando feita no solo propicia a erosão já que estariam descompactadas e assim levadas mais facilmente pelas chuvas.

do solo, Tucci (2001) alerta sobre a importância da cobertura vegetal na redução do impacto das gotas de chuva e promove o estabelecimento de uma camada de matéria orgânica em decomposição que favorece a atividade microbiana, de insetos e de animais o que contribui para formar caminhos preferenciais para o movimento da água no solo. A cobertura vegetal também age no sentido de reduzir a velocidade do escoamento superficial e, portanto, contribui para aumentar o volume de água infiltrada. Estas características estão ligadas com o sistema radicular das plantas que cria caminhos preferenciais para o movimento da água no solo o que, conseqüentemente, aumenta a TI (taxa de infiltração).

- **Características das encostas**

Conforme Guerra e Cunha (2008b) declividade, comprimento e forma da encosta são fatores que podem afetar a erodibilidade dos solos. Foi adotado para este trabalho o conceito do autor mencionado, uma vez que a declividade de uma encosta é o fator que influencia na combinação da erosão por ravinamento (*runoff*) e da erosão entre as ravinas (*rill*) e estes processos representam a perda total de solo.

Quando um terreno é horizontal os deslocamentos de partículas que se efetuam sob a ação das gotas de chuva sofrem compensação, entretanto, num terreno inclinado resulta um movimento para jusante, tanto mais acentuado quanto maior for a declividade (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

A declividade das encostas tem efeito positivo nas taxas de infiltração, provando através da obtenção de menores taxas de formação de crostas, nas declividades maiores que elevam a porosidade dos solos (POESEN, 1984).

- **Intervenção antrópica**

Christofolletti (2008) analisa que são considerados os efeitos e as transformações provocadas pelas ações humanas nos aspectos do meio ambiente físico e que se refletem, por interação, nas condições ambientais que a vida humana. Molinari (2010) discorre que a ação humana altera a dinâmica natural de uma vertente através da remoção da cobertura vegetal, elemento importante para a sua estabilidade. Desta forma, a ação do homem acelera a dinâmica de superfícies, desequilibrando a relação água e solo.

Vieira (2008) salienta que a erosão é um processo natural diretamente ligado a condicionantes naturais, como solo, relevo, cobertura vegetal e clima, podendo ter efeitos ampliados por algum evento ou ainda pela intervenção do homem.

1.5.2 Agentes causadores

Como fator condicionante principal é o homem, atuando no desmatamento, construção de obras civis, que são responsáveis pelo desequilíbrio das condições ambientais naturais.

Lepsch (2011) aborda que a água da chuva pode formar enxurrada, a qual desgasta o solo, principalmente, se este for susceptível à erosão. Selby (1990) afirma que a erosão dos solos é resultante da ação das gotas de chuva que batem sobre o solo, mediante aos seguintes processos erosivos: erosão laminar (*laminar erosion*), ravina (*rill*) e voçoroca (*gully*). O processo erosivo em rodovias configura-se em constante alteração, ao passo que seja por obras de contenção, aceleram o processo e atenuam para o desencadeamento de outros impactos (assoreamento de canais).

1.5.3 Erosão em rodovias

As rodovias, como elementos da dinâmica e da organização do espaço permitem visualizar em suas áreas de influência direta e indireta, interações entre fatores biofísicos e antropogênicos, nos quais todo o conjunto de atividades socioeconômicas do entorno geram impactos e mudanças na paisagem e no ambiente (CUNHA e TOMAZ, 2013).

Do ponto de vista técnico a ação progressiva da erosão, no caso específico de rodovias, pode provocar situações de interrupção de tráfego, acidentes de consequências imprevisíveis. Para Bigarella e Mazuchowski (1985, p.52) os principais fatores que produzem a erosão nos sistemas das estradas de rodagem são:

- 1) Modificação feita nos traçados das estradas;
- 2) Estudo insuficiente da drenagem;
- 3) Falta de proteção à vegetação marginal;
- 4) Fogo na faixa marginal;
- 5) Trilho produzido pelos animais;
- 6) Caminhos e variantes abandonadas;

- 7) Capina dos taludes eliminando a vegetação;
- 8) Água das chuvas não desviadas dos aterros;
- 9) Falta de vegetação nas faixas de domínio.

Albuquerque e Vieira (2014) abordam que a respeito do surgimento de voçorocas na BR-174 o problema relacionado à abertura de estradas pode provocar desequilíbrios ao ambiente (processos erosivos intensos, movimentos de massa e assoreamento das superfícies líquidas), quando ocorrem falhas na execução da mesma e mais importante que a contenção seria a implantação de medidas preventivas, corroborando na prevenção de novos danos.

A erosão tem ocasionado assoreamento às margens das rodovias, obstrução dos sistemas de drenagem e pode provocar instabilização de taludes, condicionando até mesmo movimentos de massa e contribuindo para a degradação maior da paisagem. Dentre as feições formadas pela erosão das margens das rodovias, destacam-se os sulcos, ravinas e voçorocas.

1.6 Sulcos

Sulcos são incisões que se formam nos solos, em função do escoamento superficial concentrado (*runoff*), as ravinas são um tipo de sulco (GUERRA e GUERRA, 2008) (Figura 02).

São feições formadas na superfície de encostas com vegetação degradada, ou no interior de voçorocas, tais feições indicam as rotas de organização de escoamento superficial concentrado. Para diferenciar essas incisões neste trabalho foi estabelecido um parâmetro de profundidade de 0,05m a 0,50m para os sulcos e de 0,50m a 1,5m para a ravina (VIEIRA, 2008).



Figura 02: Seta amarela indica formação de sulcos às margens da rodovia, Km 34, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

1.7 Ravinas

O processo de ravinamento ocorre por escoamento difuso, sob a forma de um lençol (*sheetflow*), podendo evoluir para uma ravina conforme associa Guerra (2014) e para chegar a esse estágio o fluxo de água passa a ser linear (*flowline*), evoluindo para microrravinas (*micro-rills*), e a partir do momento que estas se desenvolvem, organizam bifurcações através dos chamados ponto de ruptura ou (*knick-points*).

Vieira (2008), em seu trabalho discute que a ravina (Figura 03) caracteriza-se por ter profundidade superior a 0,5m formada por perfil transversal em “V”, forma retilínea, alongada e estreita, não apresenta processos de desmoronamentos no interior da incisão, como a queda em bloco. Para este trabalho foi estabelecida como parâmetro de 0,50 a 1,5 m de profundidade para a caracterização.



Figura 03: Ravina em borda de incisão contida, seta amarela indicada. Km 19, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

1.8 Voçorocas

Para Guerra (1994) as voçorocas são características erosivas relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos, algumas vezes se aprofundam tanto, que chegam a atingir o lençol freático. As voçorocas são formas altamente visíveis de erosão hídrica que podem restringir o uso da terra e, ainda ameaçar estradas. Nessas proporções também podem causar o assoreamento de cursos de água e hidrovias (CAREY, 2006). Vieira (2008) apresenta que a identificação de voçoroca é determinada pela presença de quedas em bloco das camadas do solo, paredes verticais e fundo plano, formando seção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m, ressalta-se este conceito utilizado neste trabalho.

O surgimento de feições erosivas, e conseqüentemente, de voçorocas são dependentes das taxas de variação de erosão, as quais estão ligadas à ação de fatores controladores, como: processos hidrológicos, propriedades físicas dos solos, a erosividade, as características da encosta, a cobertura vegetal (GUERRA, 1994) e a intervenção antrópica (VIEIRA, 2008).

Os processos existentes nas voçorocas, principalmente na cabeceira, variam desde escoamento superficial, escoamento subsuperficial (*subsurface flow or throughflow*) (por meio de poros ou túneis), erosão em cascata, queda em blocos, movimentos de massa

diversos, erosão por salpicamento, erosão por percolação e erosão em dutos, entre outros (OLIVEIRA, 1999).

Do ponto de vista da influência antrópica, o desmatamento e terraplenagem criam as condições ideais nessas superfícies dissecadas para a deflagração de processos de voçorocamentos, que aliados a sistemas de drenagem pluviais ineficientes tornam mais rápido o surgimento dessas incisões. Quanto ao solo, como exemplo, no Latossolo sem vegetação tem ocorrido a formação de crostas, as quais dificultam a infiltração e favorece o escoamento superficial, uma das principais causas do voçorocamento. A classificação quanto ao tipo e forma de uma voçoroca resulta na descrição de como ela está evoluindo possibilitando previsão do desenvolvimento.

1.8.1 Classificação das voçorocas quanto ao tipo e forma

Segundo Oliveira (1989), as voçorocas apresentam-se de diferentes tipos, sendo três (Figura 04): conectadas, desconectadas e integradas. As do tipo conectadas (I) poderiam estar associadas ao escoamento hipodérmico e/ou subterrâneo nas partes mais baixas da encosta, podendo ser canais de primeira ordem; as do tipo desconectadas (II) encontram-se na parte superior da encosta e poderiam estar ligadas ao escoamento superficial e não poderia ainda ser consideradas um canal de primeira ordem, pelo fato de não estarem ligadas à rede de drenagem; as do tipo integradas (III) é a junção das conectadas com as desconectadas, formando uma única incisão (Figuras 05, A, B e C).

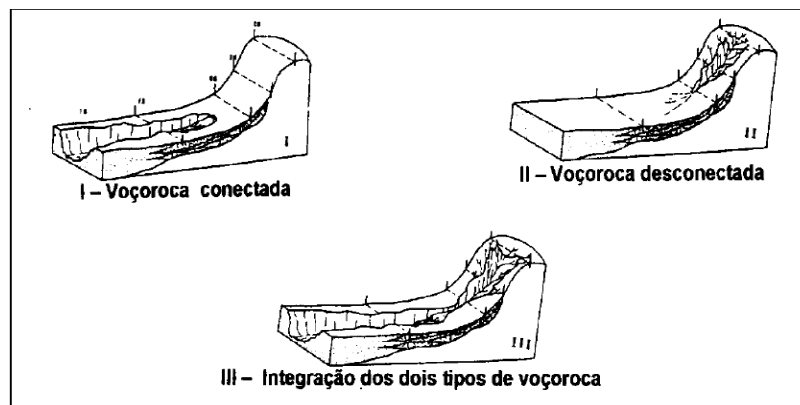


Figura 04: Tipo das voçorocas.
Fonte: Oliveira, 1989.



Figura 05: **A)** Voçoroca do tipo I (conectada), km 44, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.



Figura 05: **B)** Voçoroca do tipo II (desconectada), km 56,1, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.



Figura 05: **C)** Voçoroca do tipo III (integrada), km 56,6, BR-174.
Foto de Antonio Fabio S.G.Vieira, 2016.

Além disso, as voçorocas podem ser classificadas quanto à forma, em: linear, bulbiforme, em treliça, composta, dendrítica, paralela (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985) e retangular de acordo com Vieira (2008). Tomando como base essa classificação foi criada uma classificação (Figura 06) em que as formas apresentadas são mais correntes em Manaus: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular.

Vieira (2008) determina cinco padrões de formas de voçorocas, sendo: **linear**, está ligada à 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 estar 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.

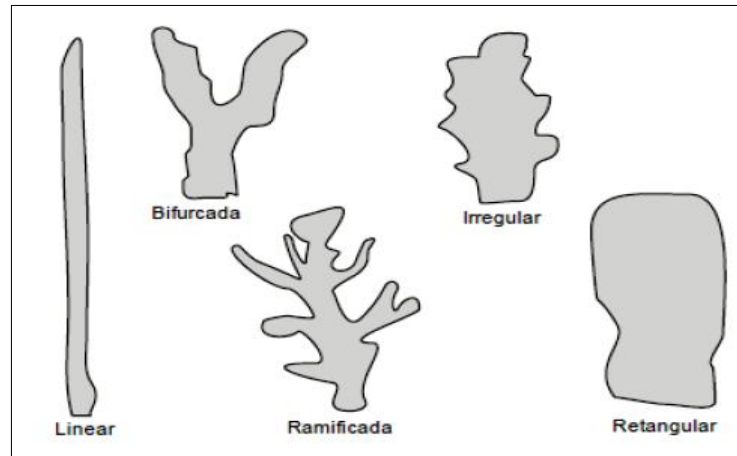


Figura 06: Formas das voçorocas.
Fonte: Vieira, 2008.

Todos os padrões e forma das voçorocas determinados por Vieira (2008) serão utilizadas neste trabalho, levando em consideração a região de estudo.

1.8.2 Classificação das voçorocas quanto ao tamanho volume m³

Vieira (2008) destaca que esta classificação ajuda a visualizar a magnitude da feição e o volume erodido, servindo também como subsídio para a recuperação da área degradada.

A adoção desta classificação por tamanho ajuda a visualizar a magnitude da feição, o volume erodido (geralmente provoca assoreamento de cursos d'água) e também serve como subsídio para projetos de contenção (VIEIRA, 2010). Quadro 01 abaixo:

Quadro 01: Classificação das voçorocas por tamanho (m³)

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

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004).

1.9 Feições erosivas

Oliveira (1999) salienta que a identificação de feições erosivas assume importância na etapa de cadastramento de voçorocas e pode tornar mais preciso o dimensionamento de eventuais medidas corretivas a serem implementadas. As feições erosivas mais comuns dentro de voçorocas são: pedestais, alcovas de regressão, filetes subverticais, escamamentos, dutos de convergência, caneluras, marmitas e costelas.

1.9.1 Pedestais ou *Demoiselles*

Feições bastante comuns nas superfícies erodidas e estão relacionados à erosão por salpicamento (*splash erosion*) ou pelo escoamento difuso que retira da camada mais superficial as partículas soltas no solo. Podem ocorrer tanto no interior das incisões erosivas quanto em vertentes desprotegidas de densa cobertura vegetal (OLIVEIRA, 1999; VIEIRA, 2008; VIEIRA, 2010) (Figura 07).

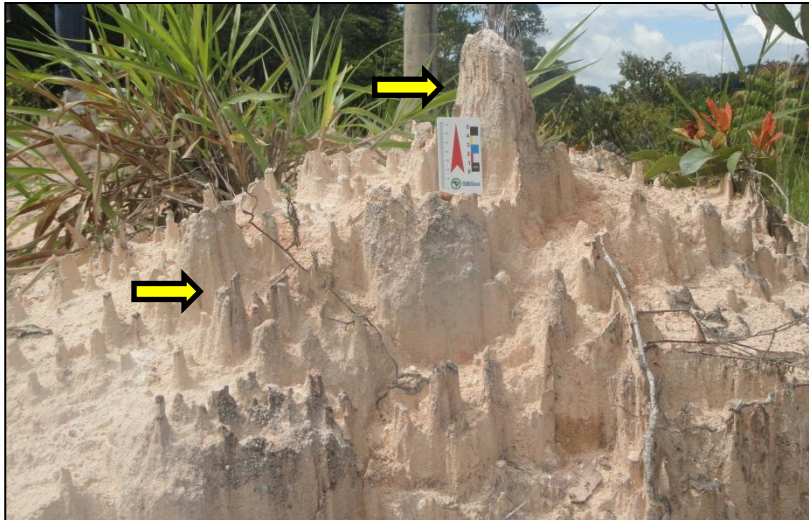


Figura 07: Pedestais indicadas por setas amarelas em voçoroca do tipo conectada, km 42, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

1.9.2 Alcovas de regressão

São feições erosivas (Figuras 08 e 09) que podem ser observadas sob diferentes condições litológicas e climáticas, podendo ser esculpidas tanto por escoamento superficial na forma de filetes, quanto pela exfiltração do lençol freático, ou ainda, pela combinação desses dois mecanismos (OLIVEIRA, 1999). O local de ocorrência desse tipo de feição, no que discorre Vieira (2008) em seu trabalho nas voçorocas de Manaus, demonstra a existência de camadas menos resistente a erosão e a expansão destas, resulta em desmoronamento das camadas acima, uma vez que a base de sustentação deixou de existir pelo vazio deixado pela presença dela.



Figura 08: Seta indica alcova de regressão em voçoroca.
km 42, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.



Figura 09: Voçoroca com formação de alcova de regressão oriunda da formação de erosão por queda d' água (*plunging pool*), km 42, BR-174.
Foto de Antonio F.S.G. Vieira, 2016.

1.9.3 Sulcos verticais

Segundo Oliveira (1999) e Vieira (2008) são encontrados em paredes de voçorocas (Figura 10), formados pelo processo de escoamento superficial na forma de filetes, esculpidos

em materiais pouco coesivos, no entanto, sua ação pode ser observada inclusive em materiais mais coesos (saprolitos e argilitos).



Figura 10: Sulcos verticais em voçoroca, km 37, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

1.9.4 Escamamentos

Formadas pelo acúmulo de material fino (areia fina ou muito fina) sobre superfície mais resistente (Figura 11). O transporte dessas partículas ocorre em formas de pequenos fluxos laminares verticais a subverticais (VIEIRA, 2008).



Figura 11: Escamamentos no interior de voçoroca do tipo conectada, Km 06, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho (2013)

1.9.5 Caneluras

São descritos por Guerra e Guerra (2008) como sulcos que normalmente cortam as rochas no sentido do declive da encosta, podendo surgir a partir de pontos que favoreçam o escoamento superficial da água. São feições comuns em incisões de pequeno porte (ravinas) e entre sulcos ou ravinas descontínuas e indicam variações das características mecânicas das coberturas superficiais. Resultam, portanto, de interações entre erosão por queda d'água e eventuais ressurgências de zonas de saturação. (OLIVEIRA, 1999, MOLINARI, 2007) (Figura 12).

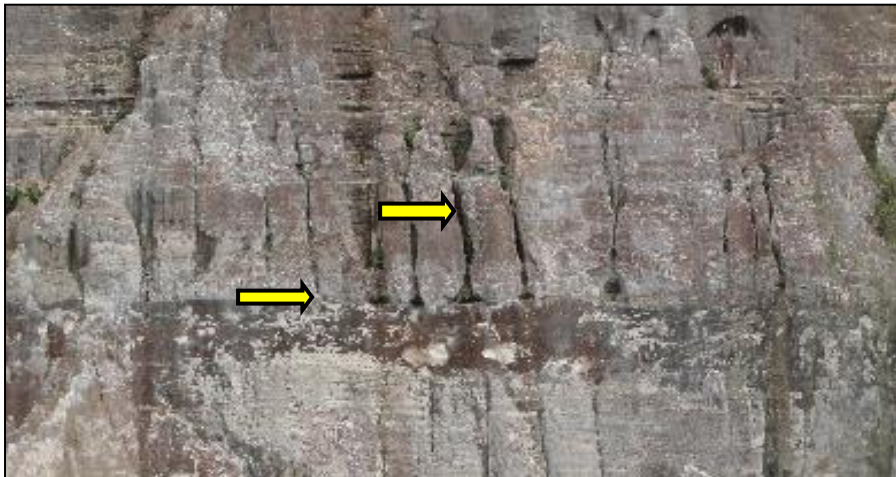


Figura 12: Seta indica caneluras na parede de voçoroca, km 52, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

Oliveira (1999) descreve que os dutos geralmente são esculpidas pela convergência de fluxo superficial, podendo interagir com zonas de saturação próximas à superfície. Por tanto, resultam da interação entre erosão e eventuais ressurgências de zonas de saturação.

1.9.6 Costelas e depressões

São feições de detalhe que podem ser encontradas em materiais de origens diversas (aluvial, coluvial, eólico, etc.) e são expostas pela dissecação de incisões e individualizadas, tanto pela ação de filetes subverticais quanto pela exfiltração do lençol freático (OLIVEIRA,

1999). Sobre essas feições, podem ocorrer a formação de marmitas e alcovas de regressão (VIEIRA, 2008) (Figura 13).



Figura 13: Costelas (seta indicando a formação no interior de voçoroca), km 34, BR-174. Fonte: Daniela Carvalho (2013).

As feições erosivas citadas são resultados da formação e evolução de processos erosivos explanados por Oliveira (1999) e Vieira (2008) e assumem importância na etapa de cadastramento de voçorocas e possibilita dimensionamento de eventuais medidas corretivas. São ainda características importantes à erosão por voçorocas pois auxiliam na identificação dos principais mecanismos envolvidos e por vez, os diferentes graus de atividade e desenvolvimento podem estar relacionados com fatores geomorfológicos, pedológicos e geológicos.

1.9.7 Movimentos de massa (*landslides* ou *mass movements*)

Correspondem ao deslocamento de terra ou rocha pela ação da gravidade, logo a característica principal de tais processos, de acordo com Molinari (2010, p. 82) e adotada neste trabalho:

É o destaque simultâneo de certa massa bem definida de solo ao longo de uma superfície de ruptura, em que material removido (solo, rocha, lixo, etc.) projeta-se encosta abaixo adicionada pela água e deslocada pela força gravitacional sendo diretamente condicionado pela forma da encosta e depositados no anfiteatro (fundo de vale). Estão condicionados pela relação entre os fatores geomorfológicos (morfometria da encosta), geológicos (ex. falhamentos), pedológicos (estrutura do solo) e elemento humano (dinâmica dos processos naturais acelerados).

Incluem-se neste processo, desde deslocamentos lentos dos materiais de encostas pouco e medianamente inclinadas até a queda livre de blocos rochosos em vertentes íngremes (SELBY, 1990).

As mais comuns estão associadas à extensão para a montante e alargamento das incisões erosivas. A sua ocorrência pode ser facilmente identificada pelos resíduos deixados imediatamente abaixo das bordas da incisão (OLIVEIRA, 1999; VIEIRA, 2008). Para esta pesquisa foram observados movimentos de massa ocorridos no interior de algumas incisões (Figuras 14 e 15).



Figura 14: Seta e linha amarela indicando movimentos de massa em interior de incisão, km 42, BR-174. Foto de Antonio F.S.G. Vieira, 2016.



Figura 15: Movimentos de massa em interior de incisão e deslizamento de parede de voçoroca indicadas por seta e linha amarela, km 27,5, BR-174. Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

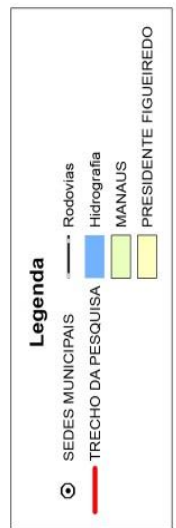
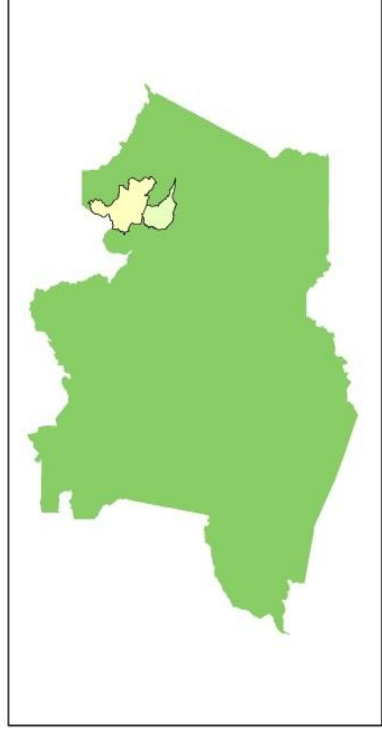
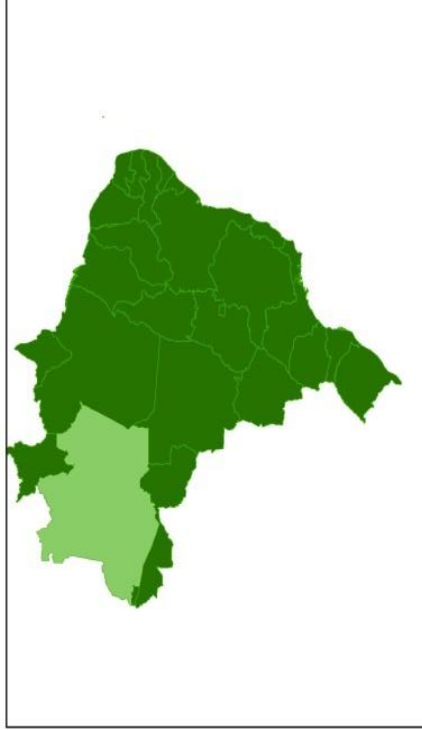
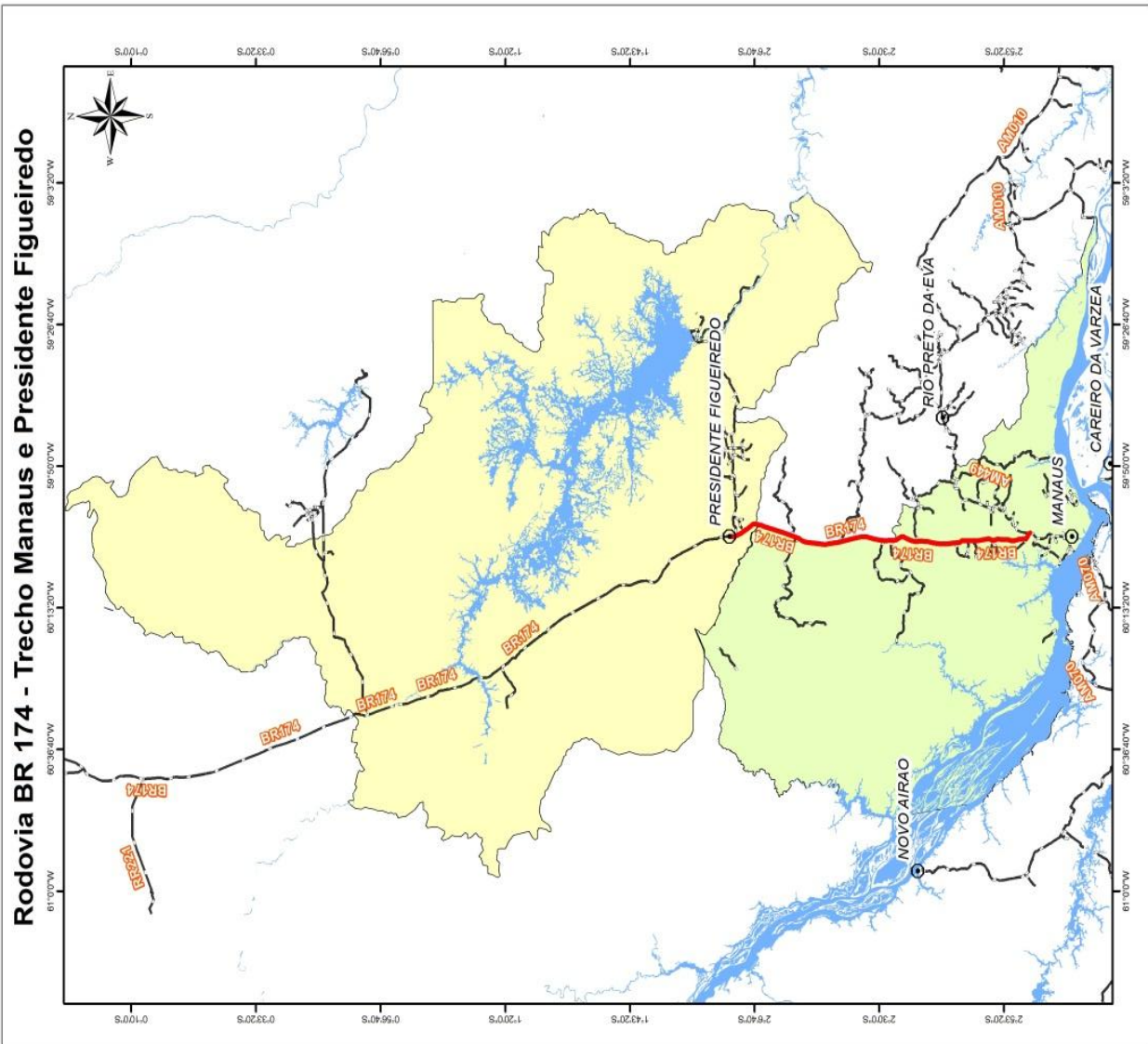
2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo compreende a Rodovia Federal BR-174, de Manaus (do Km 5,3 ao Km 56,6) e o município de Presidente Figueiredo, totalizando uma extensão de 107 km (via terrestre) (Figura 16). Esta rodovia foi concluída em 1977, ligando o município de Manaus (AM) a Caracaraí (RR). Hoje, liga Manaus até a fronteira com a Venezuela, perfazendo o total de 974 quilômetros. O Município de Presidente Figueiredo situa-se na porção nordeste do Estado do Amazonas, Região Norte do Brasil. Ao norte faz fronteira com o estado de Roraima, a leste com os municípios de Urucará e São Sebastião de Uatumã, ao sul com os municípios de Itapiranga, Rio Preto da Eva e Manaus, e a oeste com o município de Novo Airão.

A rodovia atravessa a área indígena Waimiri-Atroari, localizada na região de divisa entre os estados do Amazonas e Roraima. A BR-174 também liga o estado de Roraima à Venezuela, sendo uma via pavimentada existente entre o Brasil e o país vizinho (MPF, 2011).

Embora tenha sido construída na década de 70, Rodrigues (2011a) ressalta que a pavimentação somente foi finalizada em 1997, em meio ao discurso político de possibilitar o escoamento dos produtos oriundos da Zona Franca de Manaus para mercados dos países vizinhos e demais países do hemisfério Norte e juntamente com a construção da rodovia o estado do Amazonas incentivou a criação de projetos de assentamentos rurais, que contribuíram para a atração de um fluxo migratório, formado por pequenos agricultores que ocuparam as margens da BR-174.



Sistema de Coordenadas Geográficas
Datum WGS-84
Fonte: SEMMAS / CPRM (2015)
Elaboração: Daniela Carvalho

Figura 16: Mapa de localização da área de estudo: A Rodovia e seu trecho.
Elaboração: Daniela Carvalho. Fonte: SEMMAS e CPRM (2015).

- **Breve histórico da Rodovia BR-174**

Concluída em 1977, ligando a cidade de Manaus a Caracaraí, em Roraima, a rodovia longitudinal, atualmente interliga os estados brasileiros de Roraima e Amazonas à Venezuela, num total de 974 km. Antes disso, as tentativas de construção da rodovia (Figura 17) tiveram início em 1847, durante o período do Cel. João Henriques de Mattos, como Cmt. General Militar da Comarca do Alto Amazonas, da antiga Província do Grão-Pará. Souza (1977, p.49) discorre que três anos antes da Elevação do Amazonas à Categoria de Província houve a primeira tentativa “a picada deveria seguir desta capital (Manaus), no mesmo rumo da estrada da Cachoeira Grande até a margem do Rio Urubu e atravessá-lo ou acompanhá-lo até sair nos campos do Rio Branco”. Esta mera tentativa não aconteceu, pois, o encarregado da obra acabou vindo a adoecer.



Figura 17: A BR-174 em construção (1979).

Fonte: MAREWA – Movimento de Apoio a Resistência Waimiri - Atroari

Em 1884, o Presidente do Amazonas, Dr. Theodoreto Carlos de Faria Souto, também foi autorizado a mandar abrir uma picada, em linha reta ou quebrada, segundo a natureza do terreno, com três metros de largura, de Manaus até Rio Branco. Os engenheiros Alexandre Haag e Sebastião Diniz propuseram um novo traçado da estrada que seguia entre os rios: Tarumã, Cuieiras, Urubu, Uatumã, Jauaperi, Anauá, Baruna, Branco e Mucajaí, com extensão total de 815.419 m. O trabalho de Sebastião Diniz foi iniciado a 13 de novembro de 1893 e concluído a 13 de janeiro de 1895, porém, a estrada de Haag não supria a necessidade de transporte por água; a de Diniz porque era de trânsito moroso e difícil.

Sob o contexto da integração, é importante mencionar e discutir a atuação do PIN – Programa de Integração Nacional, durante a doutrina de desenvolvimentismo, entre 1970 e

1985, tendo como uma de suas consequências intensos conflitos sociais na Amazônia. Criado pelo Decreto-Lei 1.106, de junho de 1970, o Plano de Integração Nacional (PIN), tinha como uma de suas finalidades financiar obras nas áreas de atuação da SUDAM e SUDENE.

O Programa destaca dois objetivos fundamentais: o primeiro consistia na construção da infraestrutura básica de transportes e de comunicações. Nesse contexto, a construção das rodovias federais era primordial como forma de interligar a Amazônia ao nordeste, ao centro-sul e ao sistema rodoviário interamericano. O segundo visava ao direcionamento do fluxo migratório ao longo das rodovias. Em Roraima, os efeitos do Programa foram a construção da BR-174 (Manaus-Boa Vista-Venezuela), da BR-401 (Boa Vista – Normandia na fronteira com a Guiana) e da BR-210 ou Perimetral Norte (Pará- Roraima- Manaus), não concluída (MARTINELLI, 2004).

O trecho da BR 174 Manaus-Caracarái faz parte da rodovia Manaus/Fronteira Brasil/Venezuela, a qual após percorrer 971 km, interligando a capital do estado do Amazonas à capital do estado de Roraima, encontra o Marco BV-8, na fronteira com a Venezuela, transformando-se, a partir daí, na estrada Transcontinental BV-8 (B de Brasil, V de Venezuela e 8, número do respectivo marco de fronteira). Souza (1977) relata que através das rodovias federais BR-060, BR-319, BR-174, BR-163 e 364 (Figura 18), com uma extensão de 4.462 km, a BV-8 liga Brasília (BR) a Caracas (VE) representando, o ponto de vista rodoviário, um grande passo para a definitiva consolidação da rede viária Sul-americana e do sistema Pan-Americano de rodovias, uma vez que se terá obtido a integração, por rodovias, da rede viária de cinco nações: Brasil, Argentina, Uruguai e Venezuela.

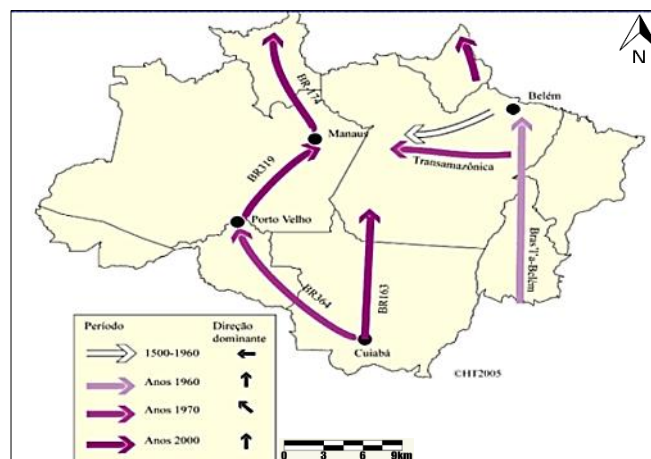


Figura 18: Mapa – Programa de Construção de Estradas pela Amazônia
Fonte: Oliveira (2016).

Em 02 de abril de 1969, foi assinado convênio de delegação pelo DNER a então Diretoria de Vias de Transportes (DVT), do trecho Caracaraí – Boa Vista – Fronteira Brasil / Venezuela pela BR 174 e da BR 401 Boa Vista – Bonfim - Normandia. Contudo, foi com a assinatura do convênio com o DNER, em 26 de fevereiro de 1970 (LIMA, 2014) que o 6º BEC (Batalhão de Engenharia Militar) (Figura 19) enfrentaria aquela que seria considerada a mais bela batalha e o maior desafio de sua história, empregando todos os seus meios disponíveis na construção da BR 174 e BR 401.



Figura 19: Trecho da BR-174 em construção (1977).
Disponível em: www.6becnst.eb.mil.br. Autor: Amaurílio G.Bastos.

Muitos colaboradores participaram na construção e desenvolvimento da BR, dentre os quais: o Exército Brasileiro construiu a estrada, o Ministério dos Transportes participou com suporte financeiro, o Comando Militar da Amazônia esteve com a parte da segurança, a operação técnica e supervisão e planejamento da obra ficou a cargo do Departamento de Engenharia e Comunicação, através da Diretoria de Obras e Cooperação, a execução da obra coube ao 6º BEC, sediado em Boa Vista. Este último trabalhou com duas frentes de trabalho: a de Caracaraí e a de Manaus.

Inúmeros desafios estiveram até a conclusão da rodovia, sobretudo, conforme Souza (1977) o maior obstáculo ao nosso progresso foi sempre o injusto desamor ao insulamento da Amazônia Ocidental, leis e realidade social, no Sul, fossilização das leis e inautenticidade de integração econômica nacional, no extremo-Norte.

É importante mencionar que a rodovia BR-174 também atravessa uma área da reserva indígena Waimiri-Atroari, sob jurisdição da FUNAI. Houve confrontos constantes entre os índios das referidas tribos na época. Em 1988, foi implantado o programa Waimiri-Atroari, que cuida para que o contato entre brancos e índios seja feito com bases equilibradas

e oferece apoio na área de administração, saúde, educação, meio ambiente, apoio à produção, documentação e memória.

2.2 Aspectos físicos

2.2.1 Estrutura geológica

Na evolução geológica da Amazônia, observou-se a formação de dois tipos principais de estruturas geológicas: as bacias sedimentares, formada de rochas sedimentares e, os crátons, formados por rochas cristalinas e metamórficas. Na região de estudo, foi observado somente a bacia sedimentar.

A região nordeste do Estado do Amazonas está inserida no domínio Waimiri-Atroari, cujas rochas estão, em grande parte, encobertas pela espessa sedimentação siliciclástica marinha a fluvial ocorrida durante a evolução da Bacia do Amazonas (SOUZA e NOGUEIRA, 2009).

Pesquisas geológicas e paleontológicas têm demonstrado que a evolução da Bacia envolveu inversão do fluxo da drenagem, a qual migrava primeiramente para oeste a noroeste, em direção ao pacífico e há cerca de 5 milhões de anos atrás, devido ao soerguimento dos Andes, mudou para Leste em direção ao Oceano Atlântico (LUZARDO, 2012).

Os sedimentos mais antigos, que repousam sobre o embasamento, são provavelmente do Cambriano recobertos por sedimentos de mar pouco profundo (Paleozoico).

Silva (2005) destaca ainda como o resultado do processo de modificações na geomorfologia local, a atividade da neotectônica, responsável por alterações nas morfologias do relevo e fluvial, com destaque para os diferentes estilos de falhas que abateram ou soergueram blocos de rochas gerando desníveis topográficos, além de feições anômalas do tipo de rios retilíneos, corredeiras e cachoeiras (SILVA, 2005).

De acordo com Nogueira e Sarges (2001), a geologia ao longo da rodovia é constituída pelo domínio litoestratigráfico pertencente ao Fanerozóico (Formação Alter do Chão, no município de Manaus), na Bacia Sedimentar Incratônica do Amazonas. Na área de estudo, está representado o mapa com as formações geológicas (Figura 20).

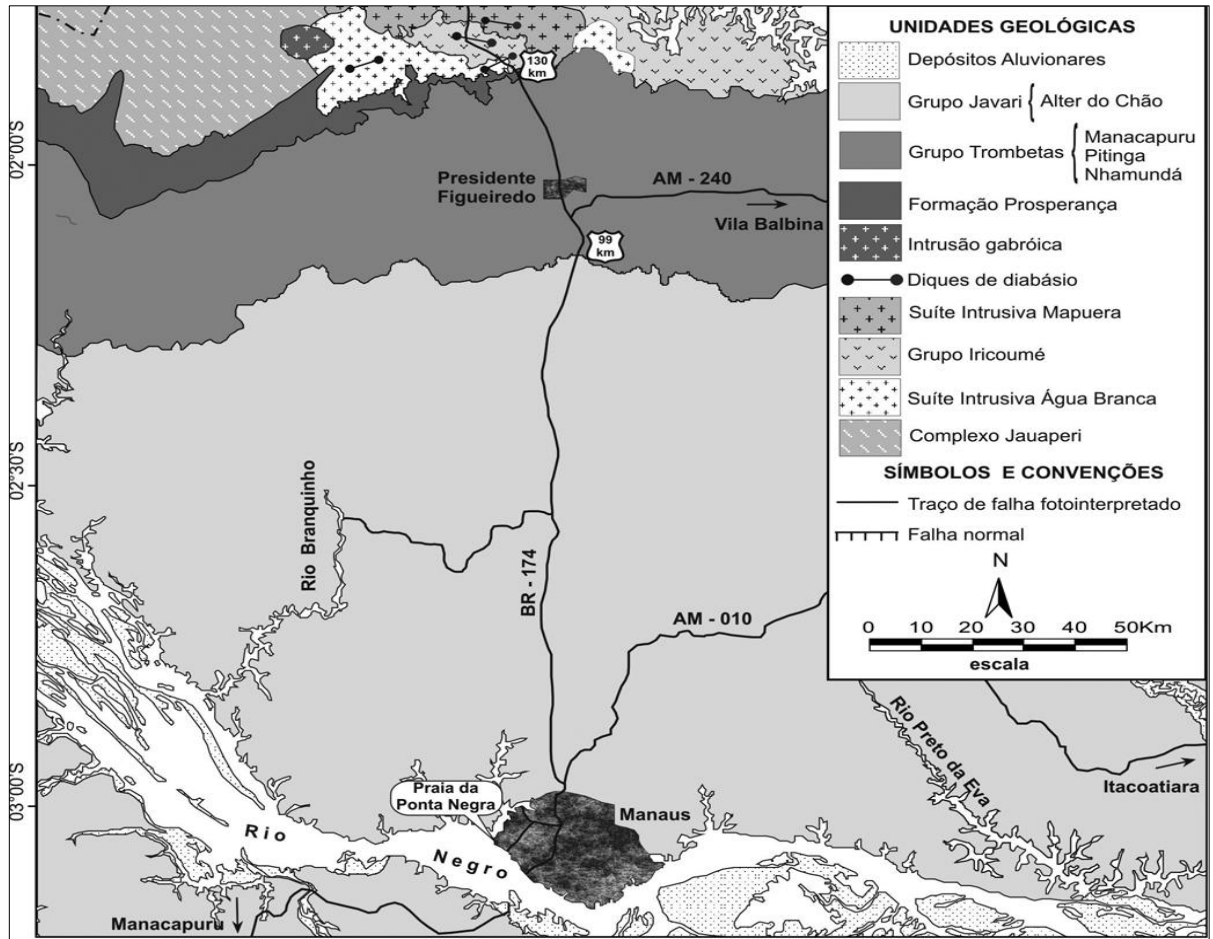


Figura 20: Mapa representando as formações geológicas da área de estudo Modificado de Souza e Nogueira (2009).

- **Compartimentação geológico-geomorfológica da Rodovia BR-174**

Domínio Fanerozoico

Depositadas na própria bacia sedimentar intracratônica do Amazonas, a rodovia percorre do Km 0 ao Km 116, abrangendo o Domínio Fanerozoico.

Na porção Sul, o Domínio Fanerozoico, a extensão das Formações são: Alter do Chão (Grupo Javari); Grupo Trombetas (Formações Nhamundá, Manacapuru e Pitinga) e os contatos entre as Formações.

Souza (1994) caracteriza a Formação Alter do Chão, compreendida em quase toda a extensão do trecho de estudo, representada por arenitos e argilitos de coloração vermelha, devido à presença de óxido de ferro; sua espessura está estimada em torno de 1.250m; atribui-se um ambiente de deposição foi flúvio-lacustre a fluvial para a unidade; sua ocorrência é

ampla, ao longo da BR-174, compreendendo o trecho de Manaus até o interflúvio Igarapé Preto/Rio Urubu.

Formação Alter do Chão

Na extensão do km 0 ao 99, a Formação predominante é a Alter do Chão, pertencente do Grupo Javari, de idade Cretácea superior a Terciária. Segundo Muller e Carvalho (2005), essa subdivisão decorre da base para o topo, das formações: Autaz-Mirim (não aflorante na região de Presidente Figueiredo), Nhamundá, Pitinga e Manacapuru, ambas de idade Siluriano-Devoniano e constituído por depósitos siliciclásticos.

A sequência Ordoviciano - Devoniano descrita por Igreja (1998) e Silva (2005) é composta pelos clásticos marinhos do Grupo Trombetas (formações Nhamundá, Pitinga e Manacapuru), e cuja Formação Alter do Chão constitui o “embasamento” das unidades litológicas cenozóicas e que acolhe a maioria das melhores exposições de estruturas neotectônicas da região.

Esta unidade é representada principalmente por arenitos feldspáticos/cauliníticos, quartzo-arenitos e conglomerados com estratificações cruzadas, acanaladas e tabulares, que foram interpretadas por Muller e Carvalho (2005) como depósitos de canais fluviais; os pelitos são subordinados e presumivelmente de origem em canais de inundação, geralmente apresentam bioturbação.

Formações Manacapuru e Alter do Chão

Este contato entre Formações ocorre no quilômetro 96 e a cortes próximos a ponte do Rio Urubu e na cachoeira da SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus). Segundo Muller e Carvalho (2005), são constituídos por arenitos, siltitos intercalados, arenitos argilosos e acinzentados com espessura que atinge 220m, de idade Siluriano Inferior. O tipo de solo corresponde ao Latossolo Amarelo. São encontrados nesta área arenitos finos a médios, folhelhos e siltitos laminados, com presença de icnofósseis (braquiópoda).

Em termos locais, o pacote de rochas expostas neste afloramento e correlacionado a representa depósitos sedimentares acumulados em ambiente litorâneo a marinho nerítico. A praia era de areia branca, possivelmente “gelada” e com fortes tempestades, porém já apresentava vestígios de vida. Conforme Schobbenhaus e Silva (2012) eram vermes gigantes

e pequenos organismos que se abrigavam na areia (Figura 21). O mar avança sobre o continente e agora deixa registros que indicam um ambiente mais profundo.

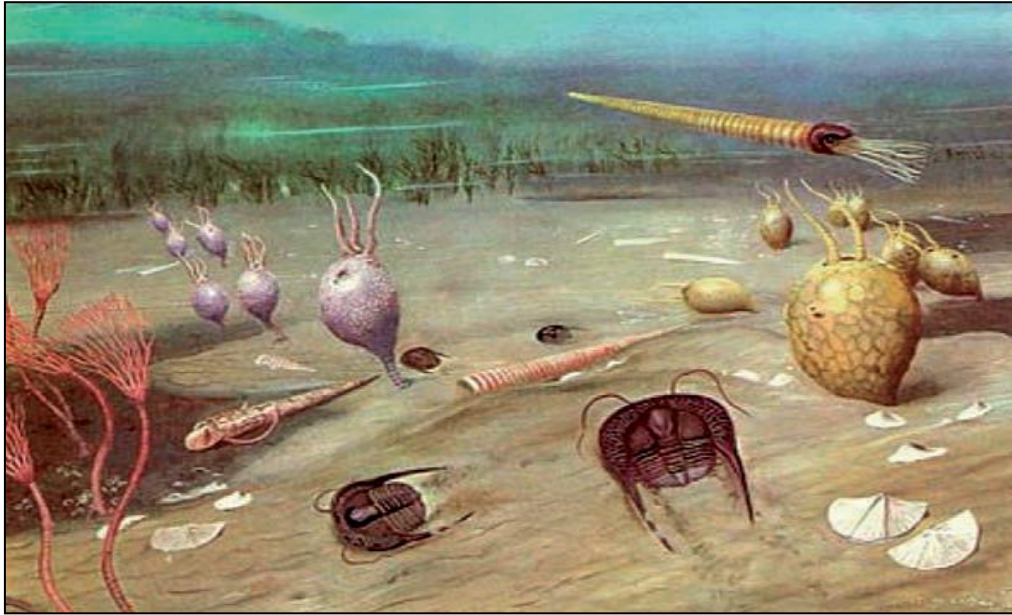


Figura 21: O fundo do mar paleozoico.
Fonte: Schobbenhaus e Silva (2012)

Formações Nhamundá, Pitinga e Manacapuru

A localização, na entrada da cidade no km 106 (contato erosivo/Formações Pitinga, Manacapuru e Nhamundá); na saída da cidade até o quilômetro 116 (contato Formação Nhamundá e Pitinga/Manacapuru); abatimentos (grabens) nos quilômetros 103 e 110 (SOUZA e NOGUEIRA, 2009), vales abertos em forma de “U”, conforme na (Figura 22) com grandes platôs. O efeito da neotectônica é registrado por falhas e fraturas, que são responsáveis pelo desenvolvimento de cachoeiras e corredeiras visualizadas nos cortes de estradas, e nos contatos erosivos entre essas Formações nas porções laterizadas.



Figura 22: Relevo, km 85, BR-174.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

Ao norte da cidade, a Formação Nhamundá é sobreposta bruscamente pelos folhelhos marinhos da Formação Pitinga enquanto que depósitos fluviais da Formação Alter do Chão recobrem em faixa contínua W-E ao sul da cidade. Essas características geomorfológicas e formações específicas podem ser vistas na (Tabela 01).

O contato entre as Formações Nhamundá e Pitinga, interpretado como superfície de inundação marinha, é um importante marco estratigráfico no Grupo Trombetas. A seguir, o mapa (Figura 23) com as Formações geológicas que compreende a rodovia até o município de Presidente Figueiredo, observa-se a Formação Alter do Chão abrangendo quase toda extensão.




CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA GEOMORFOLÓGICA DA BR 174 (TRECHO MANAUS – PRESIDENTE FIGUEIREDO)							
TRECHO Km 0 - 106	EXTENSÃO (KM)	FORMAÇÃO	GEOMORFOLOGIA	CARACTERÍSTICAS	GEOLOGIA	PERFIL	
	km 0 - 99	Alter do Chão (Grupo Javari)	Vales em “U”, bem entalhados e cotas com 80 graus de inclinação; <u>Grabens</u>	Produto de ambiente flúvio-deltaico; Registro de tectônica cenozóica	Domínio Fanerozoico (Bacia Sedimentar Intracratônica do Amazonas) Era: Paleozóico		Horizontes com perfis lateríticos, e cortes de estrada e voçorocas.
	km 96 (Rio Urubu)	Manacapuru e Alter do Chão	Relevo tabulares, com depósitos de canais fluviais	Arenitos argilosos e acinzentados, com espessura de 220 m			Cortes próximos a ponte do Rio Urubu e na cachoeira da SUFRAMA; exposições de folhelhos
km 106, Cidade de Pres. Figueiredo, 116	Contato das Formações Nhamundá, Pitinga-Manacapuru	Estruturas do tipo <u>grabens</u> (kms 103 e 110), platô arenítico relevo tabular, intercalado com depressões	Efeitos da neotectônica, registrados por falhas e fraturas, responsáveis pelo desenvolvimento de cachoeiras e corredeiras	Domínio Fanerozoico (Grupo Trombetas)		Contatos erosivos entre as Formações, que estão laterizadas	

Tabela 01: Caracterização geomorfológica da Rodovia BR 174.
Organização: Daniela Carvalho (2013).

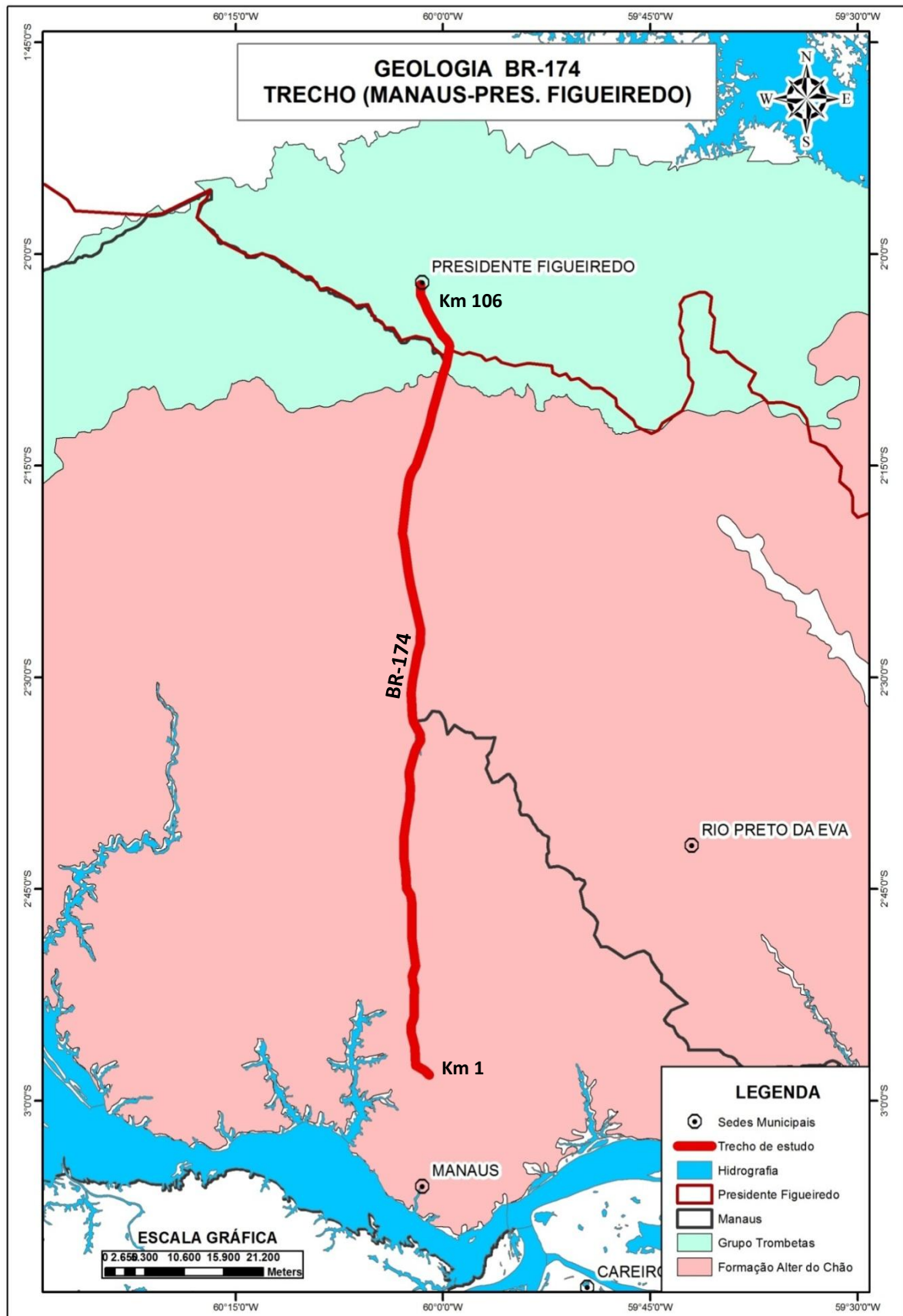


Figura 23: Geologia da região BR-174

Fonte: CPRM, 2014.

Elaboração: Daniela Carvalho, 2015

2.2.2 Geomorfologia

Existem várias classificações para o relevo local, dentre as quais a proposta da CPRM (2010), foi adotada neste trabalho. Em 1978, através de mapeamento realizado por RADAMBRASIL descreveu a área de estudo na unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rios Negro e Uatumã. Os relevos que compõem essa unidade possuem altimetria em torno de 150 metros e são do tipo interflúvio tabulares (Figura 24). Os topos possuem extensões variáveis (entre 250 e 1750 metros) e é desenvolvida na Formação Alter do Chão e Grupo Trombetas (contato das Formações Manacapuru e Pitinga).

Souza e Nogueira (2009) caracterizam o relevo do tipo tabular, com depósitos de canais fluviais, intercalado por depressões amplas que retribuem as calhas dos igarapés, cuja drenagem apresenta dendrítica muito aberta e vales em forma de “U”. Através de cortes de estrada representados nesse trecho no qual ocorre afloramento desde horizontes com perfis lateríticos, ocorrência de voçorocas, deslocado por sistema de falhas normais, favorecendo a grandes desníveis topográficos e aparecimento de cachoeiras e corredeiras.



Figura 24: Relevo ondulado, km 28, BR-174. Município de Manaus-AM.
Fonte: Daniela Carvalho (2016).

A classificação do IBGE (1991) caracteriza a geomorfologia da região correspondente ao Planalto do Negro-Jari, distinta por relevos residuais elevados de forma tabular e por interflúvios tabulares, com medianos entalhes da drenagem, mas separados por vales largos e bem marcados. As encostas ravinadas dos trechos dissecados, recobertos por vegetação densa, indicam que os processos de erosão são intensos.

Ross (2000) considera o planalto da Amazônia Oriental por ser um modelado de formas de topos convexos ou planos, com ocorrência descontínua de morros residuais de topos planos chamado tabuleiros (Figura 25), na região próxima ao município de Presidente Figueiredo (ao norte de Manaus), a partir do quilômetro 80, esse planalto tem limites definidos por mudanças bruscas no modelado, às vezes em forma de escarpa e relevo ondulado.

Em classificação proposta pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2010), utilizada neste estudo, o território amazonense foi compartimentado em nove domínios geomorfológicos. Para os municípios localizados na margem esquerda do Rio Amazonas, dentre os quais Manaus, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva, Itacoatiara e Silves e os da margem direita de Maués, o domínio morfoestrutural predominante são os Baixos Platôs da Amazônia Centro-Oriental (denominados “Planalto Dissecado dos Rios Negro e Uatumã”) (Figura 26).

Nessas áreas, os platôs são ligeiramente elevados, dissecados e protegidos por crostas lateríticas, truncados por rebordos erosivos com desníveis que variam entre 20 e 50 m.



Figura 25: Relevo, km 105, BR-174, próximo à sede de Pres. Figueiredo.
Fonte: Daniela Carvalho, 2015.

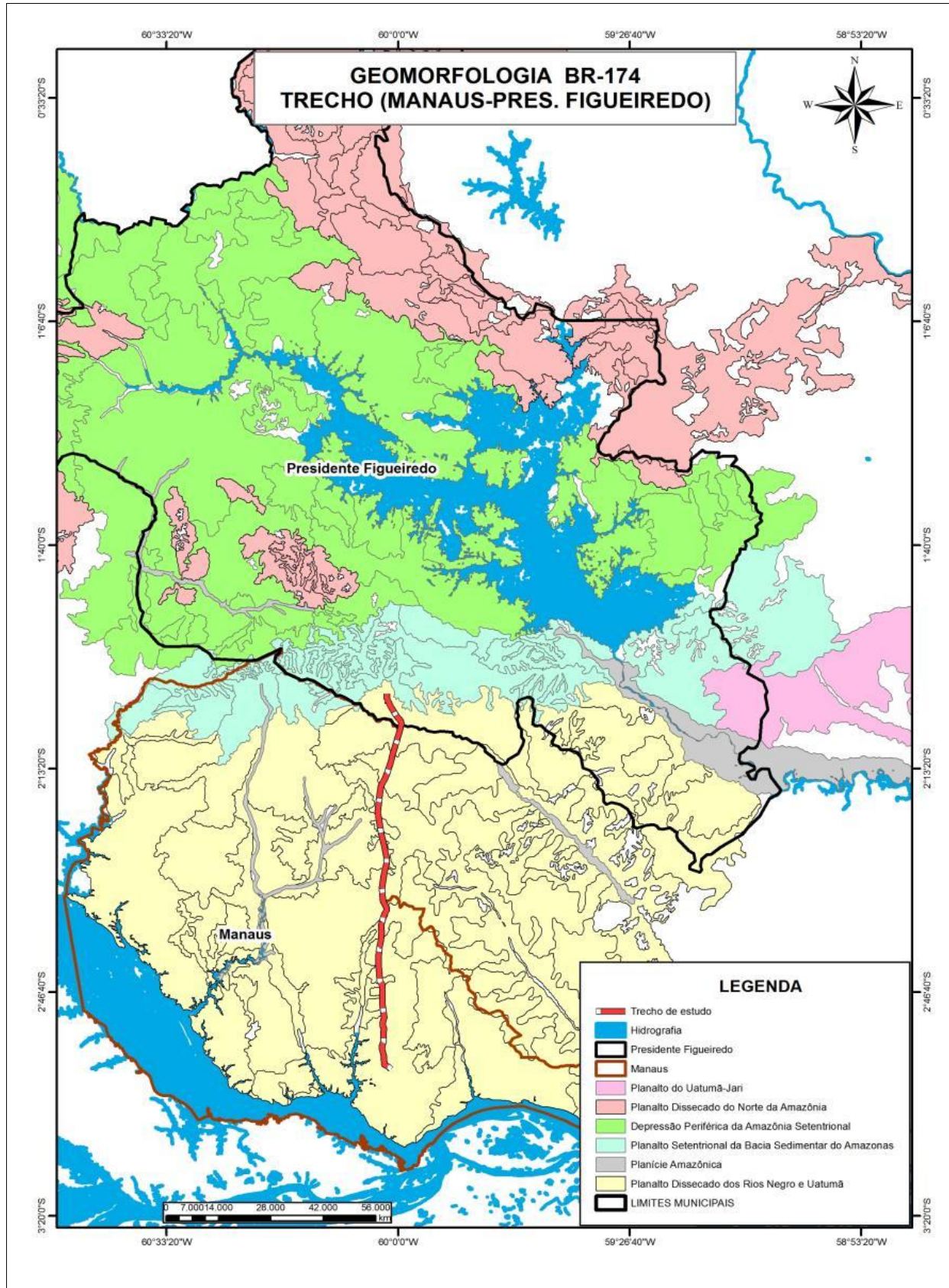


Figura 26: Geomorfologia da região da BR-174.

Fonte: IBGE e CPRM, 2006.

Elaboração: Daniela Carvalho, 2015.

Na região que abrange a rodovia e parte ao sul do município de Presidente Figueiredo encontram-se diversas unidades geomorfológicas, dentre estas o Platô Arenítico ocorre sobre os arenitos da Formação Trombetas e é caracterizada por Muller e Carvalho (2005) como relevo tabular, intercalado por depressões amplas que correspondem a calhas dos igarapés e por apresentar drenagem dendrítica aberta.

2.2.3 Clima

O clima da área de estudo, se caracteriza por ser chuvoso, úmido e quente, com maior incidência de chuvas no período de dezembro a maio. Regionalmente, a temperatura é uniforme ao longo de todo o ano, variando entre a máxima de 38° C e a mínima de 20° (NAVA et al., 1998).

Já a porção que abrange o Município de Presidente Figueiredo apresenta temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18 °C (EMBRAPA, 2001). A temperatura média é de 28°, com precipitação média anual de 2.000 mm e a umidade relativa do ar fica em torno de 80% (INMET, 2016).

2.2.4 Solo

Existem 3 solos na região da rodovia compreendendo ainda os municípios de Presidente Figueiredo e Manaus, como os: Argissolos, Latossolos, Espodossolos, Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos (Figura 27). A classificação de CPRM (2010) caracteriza os solos como sendo profundos e bem drenados (em geral Latossolos Amarelos).

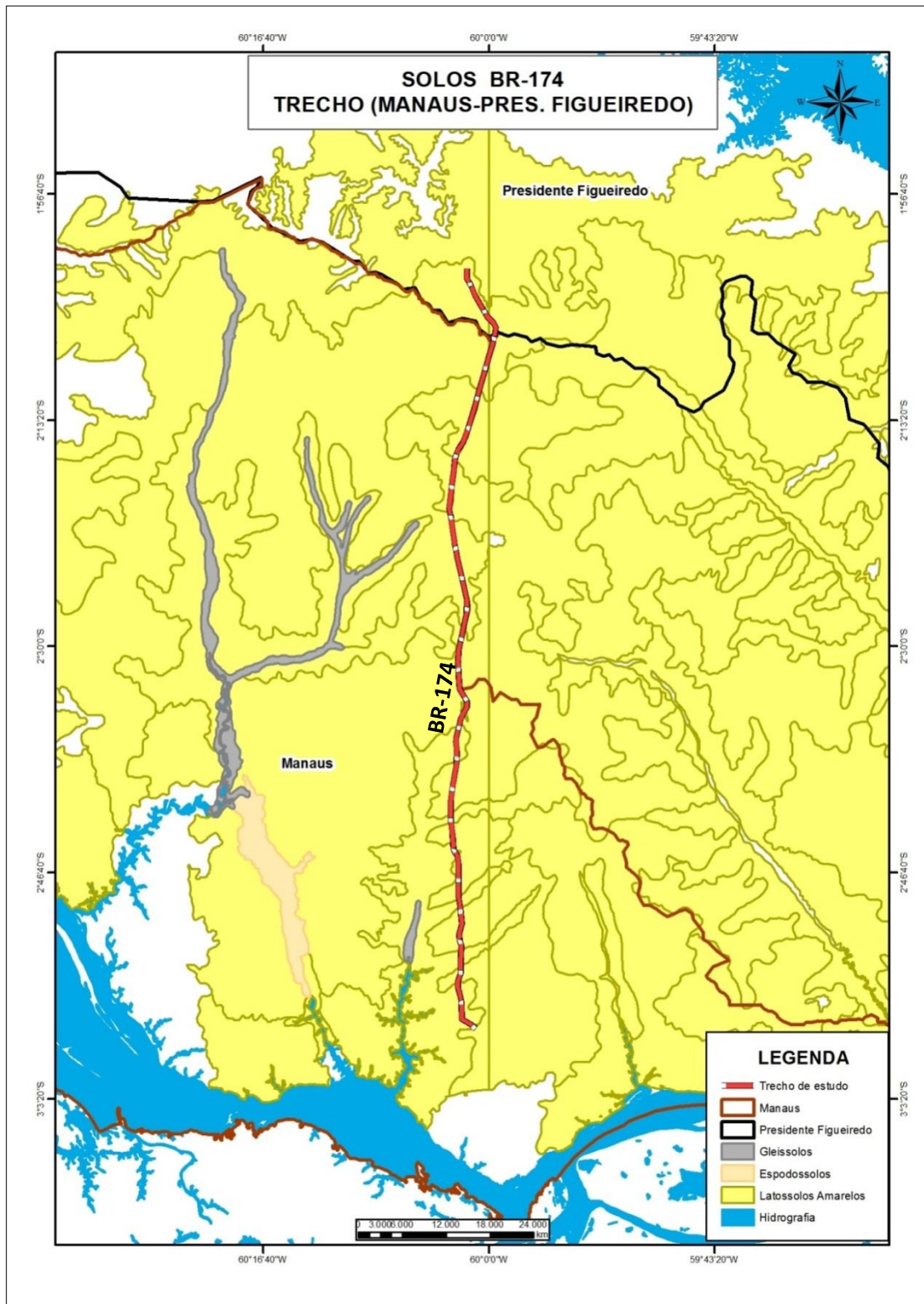


Figura 27: Solos.

Fonte: IBGE e CPRM, 2006.

Organização: Daniela Carvalho, 2015.

- Argissolos

Em classificação usada anteriormente pela EMBRAPA Solos, o Argissolo era denominado de Podzólico Vermelho-Amarelo (horizonte B textural); Podzólico Vermelho-Escuro (horizonte B textural) e Podzólico Amarelo.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (Podzólico Vermelho-Amarelo) são moderadamente drenados a bem drenados, pouco profundos a profundos com marcante diferença textural entre os horizontes A e Bt (textural) (IBGE, 1991); conforme Curi et al. (1993) os horizontes Bt estão comumente encontrados com argila de atividade alta; são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte Bt com argila de atividade baixa imediatamente abaixo do horizonte A ou E de acordo com EMBRAPA (1999); e no que diz respeito às características físicas são semelhantes aos Argissolos amarelos e possuem horizonte superficial para o horizonte Bt EMBRAPA (2001).

Em Curi et al (1993), a classe de solos de Argissolos Vermelho-Escuros (Podzólico Vermelho-Escuro) constitui-se de horizonte Bt com frequência de argila; o horizonte Bt geralmente possui a parte superior, livre de plintita com sobreposição de sub-horizontes; são identificados em áreas com topografia plana e suave ondulada (IBGE, 1991);

Com relação à configuração geomorfológica IBGE (1991) estes solos encontram-se em superfícies com topografia variável, desde a suave ao forte ondulado, sendo originados de sedimentos areno-argilosos do Quaternário e Terciário.

- Latossolos

Esta classe é constituída por solos com presença material mineral, apresentando horizonte B imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (EMBRAPA, 2006). São solos com baixa fertilidade natural, está condicionada pelos baixos teores da soma da base e de fósforo assimilável, apresentando altos teores de alumínio extraível e baixa capacidade de troca de cátions (CTC) (EMBRAPA, 2001). Os Latossolos são formados em condições de relevos bem drenados, variando de plano suave a ondulado (GIRÃO, 2005).

Na região da Amazônia Central, próximo a Manaus, em condições naturais de elevada permeabilidade e bem estruturados, são suscetíveis à erosão hídrica (CPRM, 2010). Para a região de estudo compreendem 3 tipos de Latossolos: Amarelo, Vermelhos e Vermelho-Amarelos.

Lepsch (2010) expõe que os perfis de Latossolo considerados mais típicos apresentam horizonte A pouco espesso e com transição difusa para um B latossólico muito espesso (atinge comumente mais de 2 m de profundidade), com consistência muito friável, alta porosidade e colorações variadas de avermelhadas a amareladas.

- Espodossolos

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006), os espodossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte diagnóstico subsuperficial B espódico (Bh, com acumulação de matéria orgânica e compostos de alumínio, com presença ou não de material iluvial, com coloração escura) abaixo imediatamente de um horizonte E e A, nas classificações mais antigas eram chamados os “Podzóis” e Podzóis Hidromórficos” (LEPSCH, 2010).

Ocorrem em vegetação de campinara, sendo que, algumas dessas ocorrências, devido à limitada drenagem do horizonte espódico, há um encharcamento temporário nos períodos de maiores precipitações (CPRM, 2010).

-Gleissolos

São definidos pelo material constitutivo, predominantemente mineral, com um horizonte glei (origem: *Gray* = cinza) nos primeiros 150 cm e menos de 50% de plintita, abaixo de um horizonte A ou de um H pouco espesso. Como características, os perfis são: horizonte superficial espesso e escurecido e de A moderado, ambos apresentam horizonte subsuperficial acinzentado, que comumente apresentam mosqueados na zona de oscilação do lençol freático (EMBRAPA, 2006; LEPSCH, 2010).

Não apresentam processos de erosão intensos, especialmente devido ao relevo plano a suave ondulado ocorrem e à pequena diferença de cotas entre o nível do solo e o nível das águas (CPRM, 2010).

Neossolos Quartzarênicos

São solos minerais, hidromórficos ou não, geralmente profundos, essencialmente arenosos, pouco desenvolvidos a partir de sedimentos arenoquartzosos ou de arenitos, caracterizados por completa ausência de horizonte B (CPRM, 2010). Lepsch (2010)

caracteriza este solo por ser arenoso e por apresentar limitações pela baixa capacidade de armazenar água e nutrientes.

A estrutura é muito fraca, pequena granular, com aspecto maciço e/ou grãos simples, apresenta coloração variável, podendo ter tonalidades acinzentadas, amareladas ou avermelhadas, em função da presença de óxido de ferro (CPRM, 2010).

2.2.5 Vegetação

Ao norte de Manaus, na referida área de estudo, ocorre o contato da Floresta Densa com a vegetação Campinarana (Figura 28). Reunindo espécies vegetais de formação arbórea, arbustiva e gramíneo-lenhosa, que se desenvolvem em solos de textura arenosa (Espodosolos), pobres em nutrientes e com drenagem deficiente.

Enquanto que nas nascentes dos igarapés, vales dos rios e planícies inundadas as árvores tem um porte menor, o que dificulta a penetração dos raios solares devido ao emaranhado de cipós e outros vegetais arbustivos (SOUZA, 1974).

A vegetação do Município de Presidente Figueiredo é constituída por vários fitoecossistemas classificados por IBGE (1991) e EMBRAPA (2010), os quais serão analisados a seguir:

- **Campinarana:** constituída por uma formação vegetal muito especializada em função das condições edáficas locais encontradas em solos essencialmente arenosos, apresentando-se com fisionomias diferentes, variando de arbórea densa, aberta e arbustiva. Na área, predominam as formações florestadas e arbustivas;
- **Floresta ombrófila densa:** caracteriza-se por apresentar, de forma dominante, uma fisionomia com árvores emergentes e em pequenas manchas, com uma cobertura uniforme, ocorrendo nas áreas sedimentares do Terciário. Também é encontrada revestindo várias formas de relevo (superfícies dissecadas, altos platôs e montanhas baixas), onde predominam árvores imensas que sobressaem do dossel superior. A dominância arbórea densa (árvores de 25 a 50 metros de altura);
- **Floresta ombrófila aberta:** caracterizam-se por uma fisionomia mista com indivíduos arbóreos, bem espaçados, com presença marcante de frequentes

agrupamentos de palmeiras e cipós. Ocorre revestindo os interflúvios tabulares e os talwegues do relevo dissecado em cristas e colinas.

Figura 28: Vegetação no trecho de estudo.

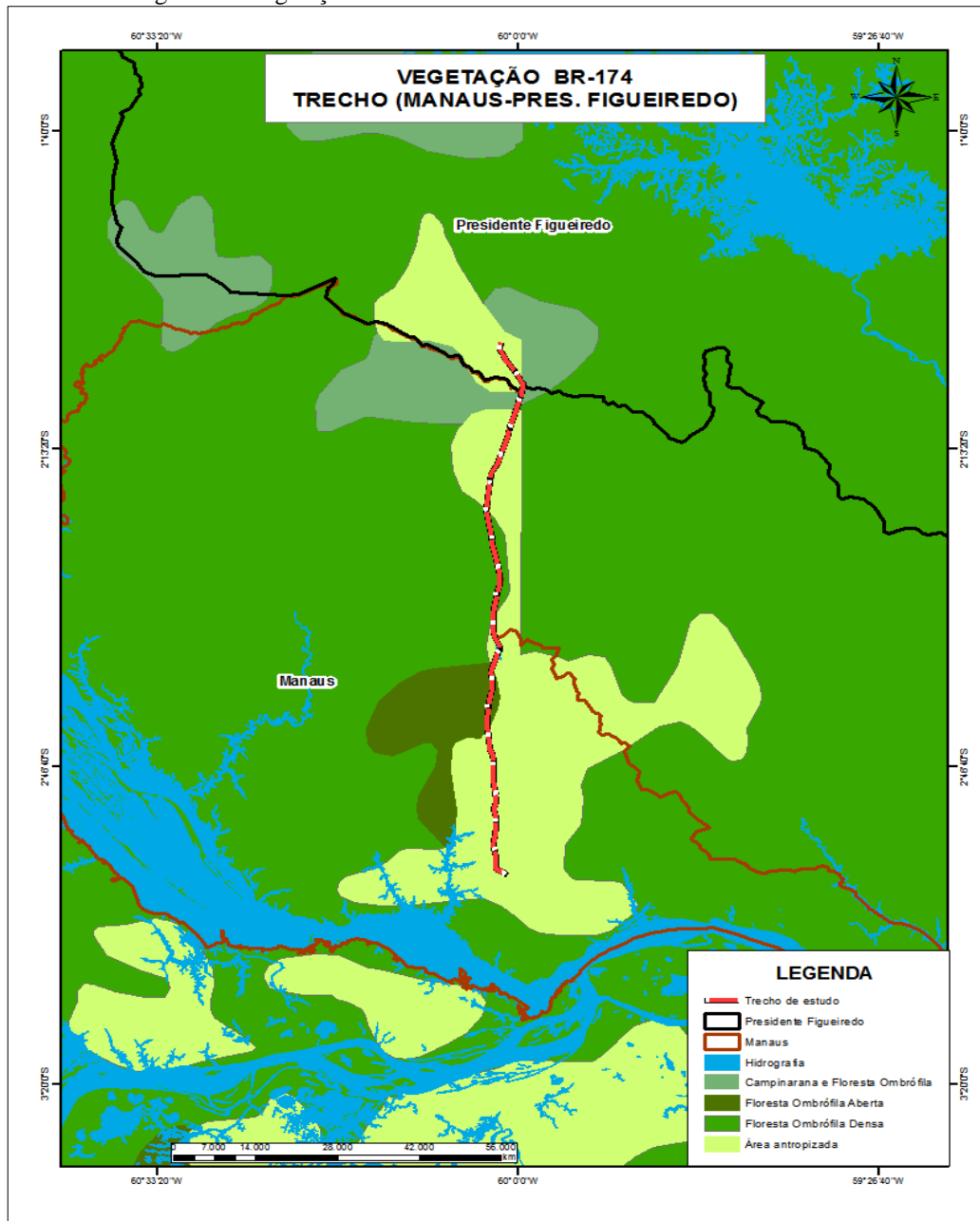


Figura 28: Vegetação da área de estudo.

Fonte: IBGE e CPRM, 2006.

Organização: Daniela Carvalho, 2015.

Rodrigues (2011) através de mapeamento sobre desmatamento na rodovia referida destaca a diversidade de florestas ao longo da rodovia, no entanto, para a área de estudo, observam-se os contatos entre Floresta Ombrófila Densa e áreas de tensão ecológica. (Figura

29). O autor analisa que a rodovia em ambos os lados, possui uma boa conectividade florestal, no entanto, não possui conectividade de um lado para o outro (corredores ecológicos), formando um extenso isolamento da fauna e flora da região. As fitofisionomias são diversificadas são encontradas Áreas de tensão ecológica, Campinarana arbórea e Campinarana florestada, Floresta ombrófila aberta, Floresta ombrófila densa e Savana (Cerrado) (IBAMA, 2006).

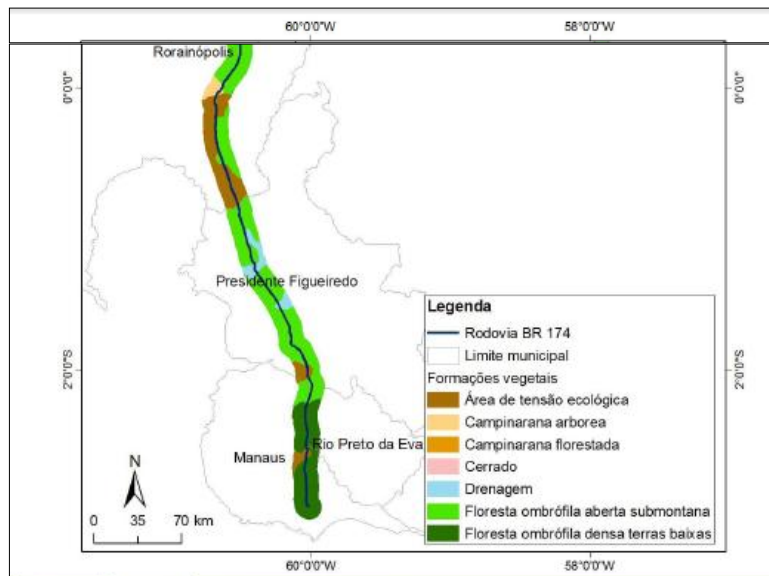


Figura 29: Vegetação correspondida de Manaus a Boa Vista.
Fonte: Rodrigues, 2011. Base adaptada de IBGE/SIPAM (2010).

2.2.6 Hidrografia

A rede hidrográfica do município de Presidente Figueiredo apresenta o reservatório da hidrelétrica de Balbina, como resultante do represamento do Rio Uatumã. Alguns dos rios próximos à área podem ser citados: afluentes diretos do rio Amazonas (Urubu e Uatumã), Igarapé Tarumã-Açu, Igarapé Preto, além de outros de pequeno porte como o rio Branquinho (Figura 30).

De acordo com RADAMBRASIL (1978), a rede hidrográfica da região apresenta padrões de drenagem dendrítica a subdendrítica, sendo que a densidade de drenagem próxima a sede do município de Presidente Figueiredo caracteriza-se por ser alta.

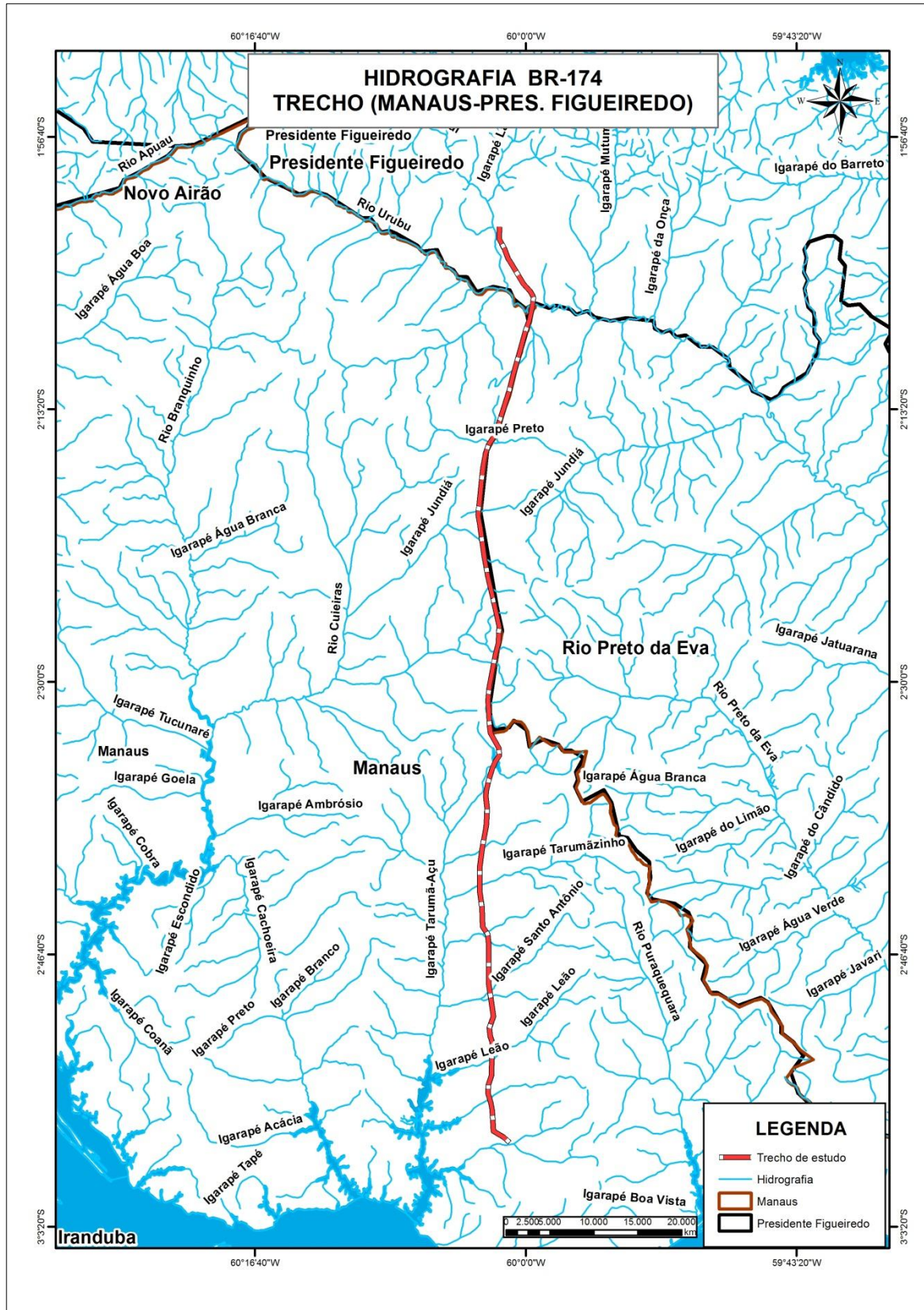


Figura. 30: Hidrografia.
 Fonte: IBGE e CPRM, 2006.
 Organização: Daniela Carvalho, 2015.

A configuração da rede hidrográfica da região está condicionada ao substrato geológico e aos lineamentos estruturais³. Silva (2005) aborda que os lineamentos apresentam flexão de 90° (forma de “L”) e direção a) NW-SE, margem esquerda do Rio Negro, zona do baixo Rio Cuieiras, trecho do Igarapé Tarumã-Mirim, vales dos rios Preto da Eva, Urubu; b) com direção NE-SW, Rio Cuieiras, afluentes dos rios Tarumã-Açu, Puraquequara, Preto da Eva, Urubu; c) Com direção N-S, constituem algumas drenagens de ordem superior, observados nos igarapés Tarumã- Mirim, Tarumã-Açu, parte do médio curso do Rio Cuieiras, e na cabeceira do Rio Branquinho e nos afluentes do Rio Urubu; d) com direção E-W, zona norte da cidade de Manaus, médio curso do Rio Cuieiras, limite norte na região de Presidente Figueiredo, zona de confluência dos rios Preto da Eva e Urubu (Figura 31).

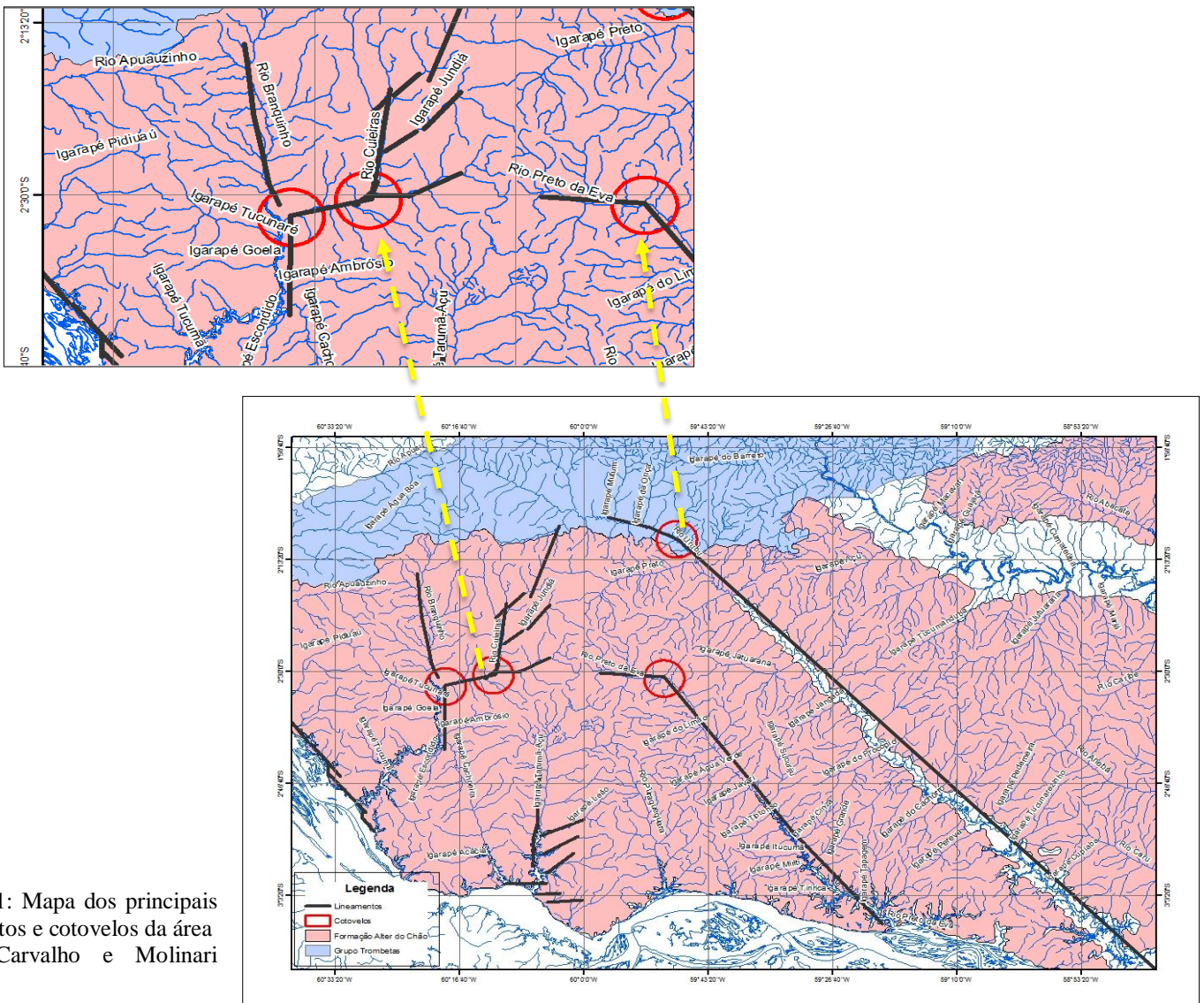


Figura 31: Mapa dos principais lineamentos e cotovelos da área
Fonte: Carvalho e Molinari (2014).

³ São feições de larga escala, que aparece no meio da região, podendo ser representada por um vale, resultante da geologia estrutural (GUERRA e GUERRA, 2008).

concerne sobre a delimitação de bacias na área de estudo, foram delimitadas ao todo 08 bacias hidrográficas (Figura 32) sendo que, destas, 03 bacias compreendem as voçorocas identificadas na BR 174 (CARVALHO, 2014). Sendo elas: a Bacia do Rio Urubu, Bacia do Rio Branquinho e a Bacia do Igarapé do Tarumã-Açu. Esta última localizada nos limites do município de Manaus, compreende uma área de 137,62 Km², possuindo cerca de 178 cursos d'água.

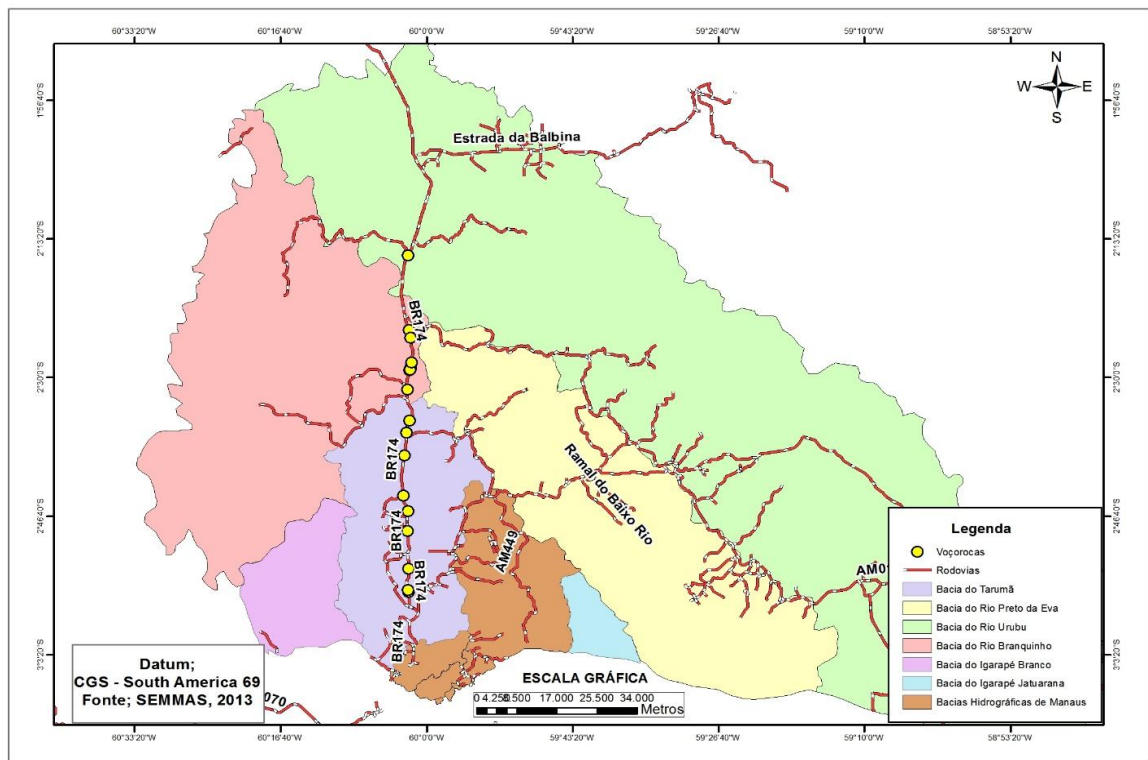


Figura 32: Mapa das Bacias Hidrográficas. Voçorocas estão representadas pelos pontos amarelos. Fonte: Carvalho (2013). Base: SEMMAS, 2013.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1. Método e Procedimentos Metodológicos

A metodologia que foi empregada neste trabalho seguiu o método sistêmico TGS (Teoria Geral dos Sistemas) (Figura 33), que em suma resulta em analisar as partes e suas relações, para depois compreender o todo.

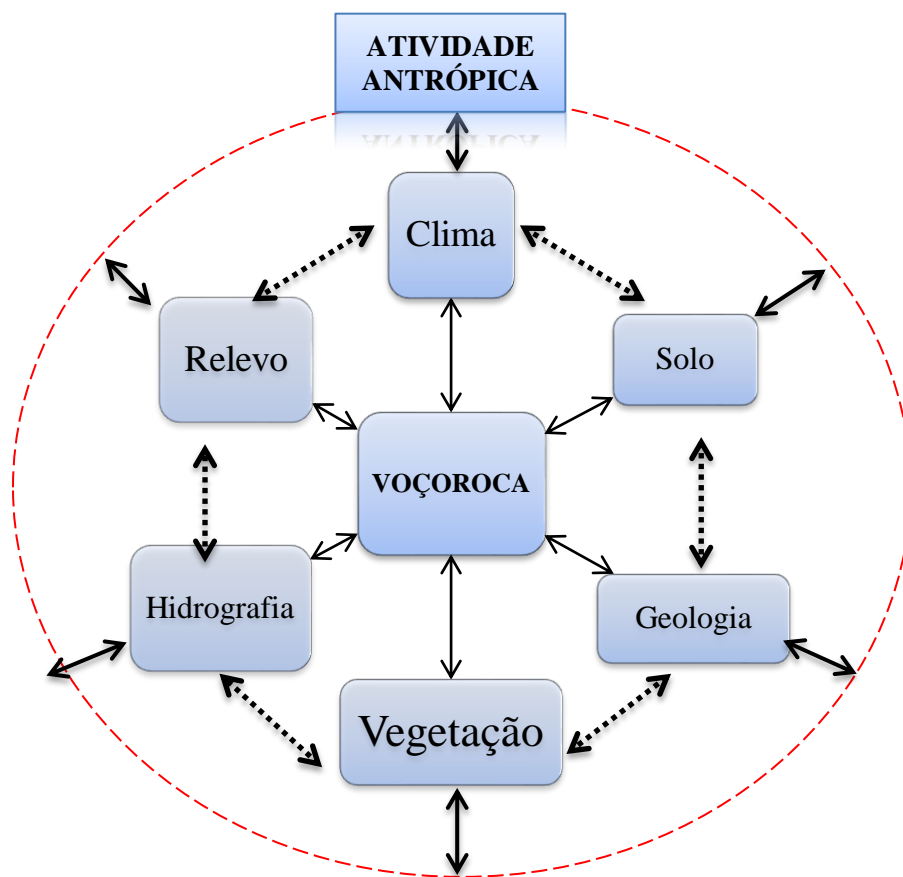


Figura 33: Fatores controladores do surgimento de voçorocas.

A seguir, a organização dos objetivos específicos foi esquematizada da seguinte forma através do fluxograma (Figura 34).

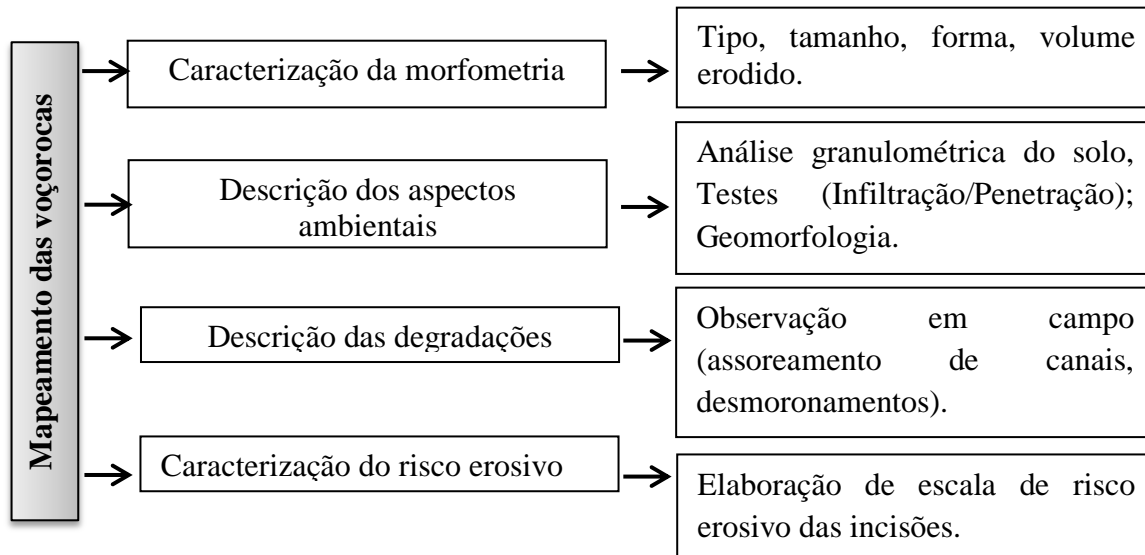


Figura 34: Fluxograma das etapas por objetivos.
Org. Daniela Carvalho, 2016.

A realização desta pesquisa desenvolveu-se em três etapas:

- 1) Levantamento de dados cartográficos e revisão da bibliografia;
 - Dados da Geomorfologia, Hidrologia, Pedologia da região da rodovia,
- 2) Interpretação dos produtos;
 - Imagens digitais SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*);
 - Imagens – Projeto RADAMBRASIL;
 - Arquivos em *shapefiles* disponíveis na Base Cartográfica do IBGE, da folha SA. 20 (Manaus) em escala 1:250.000;
 - Imagens TM/LANDSAT-7;
 - Dados SRTM (Modelo Digital de Elevação) da Missão Topográfica por Radar Interferométrico ou *Shuttle Radar Topography Mission*, disponibilizados pelo *United States Geological Survey (USGS)*, através do recurso interativo de Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil-TOPODATA/INPE (OLIVEIRA et al., 2016), imagens de resolução 90 m, formato TIFF (*Tagged Image File Format*) georreferenciado de acordo com o sistema mundial WGS-84 (*World Geodetic Systems*).
- 3) Levantamento de campo e
- 4) Apresentação final dos resultados.

O trabalho envolveu atividades de campo que compreendeu a identificação das voçorocas, com descrição e coleta de amostras, além de análises de laboratório e gabinete, no qual os dados coletados serão analisados e comparados, cuja finalidade é a relação e interação das variáveis antrópicas (características da estrada uso e ocupação da terra na margem da rodovia); e naturais (geomorfologia, geologia, solo, hidrografia e cobertura vegetal), no entendimento do surgimento e expansão do processo de voçorocamento.

Para esta pesquisa, a abordagem deu-se à sobre a Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 (MMA, 2005) que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, define meio ambiente como: “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

3.2. Caracterização da morfometria das voçorocas

O mapeamento das voçorocas foi realizado ao longo da rodovia federal BR 174. As observações de campo para a descrição morfológica dos solos foram organizadas nos pontos de ocorrência das voçorocas, com auxílio de ficha cadastral, que contém informações pertinentes a forma, tipo, tamanho e caracterização da área da incisão.

Classificou-se quanto ao:

- Tipo: conectada, desconectada e integrada: (OLIVEIRA e MEIS, 1985), conforme modelo descrito na Figura 04, página 31;
- Forma: retangular, bifurcada, irregular, linear e ramificada: (VIEIRA, 2008), a partir de modelo da Figura 06, página 33;
- Tamanho: variando de muito grande a muito pequena, relacionado ao volume erodido: (VIEIRA e ALBUQUERQUE, 2004), de acordo com modelo no Quadro 01, página 33.

No trabalho de campo foram utilizados instrumentos para a coleta de solo e perfil topográfico os quais são: caderneta de campo, fita métrica, trado, tabela em cores do solo (*Munsell Color Charts*), saco plástico para identificação da amostra.

Para a verificação de indicadores presentes e mapeamento das incisões e parâmetros em voçorocas (Figura 35) e perfis lateríticos, geomorfologia consistirá em descrição em campo e descrição das incisões encontradas na rodovia, por meio da ficha cadastral (Figura 36). Estas forneceram as informações necessárias também no que tange a outros aspectos,

como: histórico da ocorrência da incisão, danos materiais e danos ambientais, principalmente desmatamento, assoreamento e uso da incisão como depósito de lixo (VIEIRA, 2008).



Figura 35: Monitoramento morfométrico de voçoroca, Km 56,4, BR-174.
Foto de Antonio F.S.G.Vieira (2016).

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 cad.	3º cad.	4º cad.	5º cad.	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						
() PLATÔ		() BAIXIO		() ENCOSTA		
CARACTERÍSTICAS DA ENCOSTA						
() ENCOSTA SUPERIOR		() ENCOSTA MEDIANA		() ENCOSTA INFERIOR		
FORMA:	COMPRIMENTO:		DECLIVIDADE:			
6. SOLO:						
() INALTERADO		() ALTERADO		() COMPACTADO		() CROSTAS
() LATOSSOLO		() ESPODOSSOLO		() ARGISSOLO		() 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 36: Modelo de ficha cadastral de voçorocas.
Fonte: Vieira (2005).

Quanto às dimensões das voçorocas o resultado dos valores foi obtido através da medição da incisão com auxílio de trena. Com isto, a área aproximada:

$$A = C.L$$

Onde:

A=área em m²

C=comprimento

L=largura

- Para valores do volume médio erodido:

$$V_{me} = A.P$$

Onde:

V_{me}=Volume médio

A=área

P=profundidade

3.3 Aspectos ambientais

A identificação consistiu em duas etapas, dos seguintes elementos Geomorfologia / Hidrografia / Geologia e Solo:

- 1) - Gabinete: por meio de fotointerpretação de imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT-7, resolução espacial de 30 metros e bandas 3,4 e 5 (*Red, Blue and Green*) disponível no Portal do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que no primeiro momento foram agrupadas (mosaico) em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) através do *Software Arcgis 10.3*;
- 2) - Efetuação da caracterização dos dados dos trabalhos de campo, em pontos amostrais pré-estabelecidos demarcados anteriormente.

Por meio da base da SRTM disponível no *site* da Embrapa (MIRANDA, 2005) foi gerado (mapa de relevo da região que compreende até o município de Presidente Figueiredo) por meio da elaboração de MDE's (Modelo Digital de Elevação), utilizando o Programa *3D*

Analysis dos softwares *Arcgis 10.3* e *Global Mapper 8*, inserindo os arquivos em formato *shapefiles* e base de dados do CPRM (Serviço Geológico Brasileiro).

3.3.1 Características físicas do solo

Foram coletados em campo por tradagem onde posteriormente, será obtida a estrutura física. A metodologia empregada para a análise físico-química do solo em Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e Solos – LATOSSOLO, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM tendo por base o Manual de Métodos de Análises de Solo da EMBRAPA (1997), bem como a classe textural do solo. Para medição do percentual de areia, silte e argila pode ser necessário passar por um processo laboratorial. Nessa análise verificou-se a composição granulométrica, na qual estão inclusos tamanho e composição dos grãos. De acordo com o seu diâmetro cada grão recebe uma denominação.

A metodologia empregada para a coleta de amostras de solo para análise laboratorial foi realizada com o método da tradagem que segundo Venturi (2009) é o tipo de coleta de solo em profundidade com o trado holandês (Figura 37).



Figura 37: Coleta de solos através de tradagem.
Fonte: Daniela Carvalho (2013).

Quanto à granulometria ou textura, segundo Lepsch (2011) refere-se a determinação do tamanho e da quantidade das partículas unitárias dos grãos minerais do solo, ou seja, são porções relativas das várias frações do solo (areias, silte e argilas).

Antes de ser analisada em laboratório a amostra de solo, depois de colocada, é secada ao ar, também conhecido com Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), destorroada e passada em peneira de 2 mm de diâmetro para retenção de raízes e partículas maiores que esse diâmetro (LEPSCH, 2011). Após a quebra dos agregados, divide-se a amostra usando o equipamento Quarteador de Câmara tipo Jones (Figura 38).



Figura 38: Quarteador utilizado.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

Esta etapa é utilizada para o preparo das soluções, que adicionadas com 100 ml de água destilada e 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH) foram misturadas e colocadas em béquer por 24 horas em descanso. Após 24 hs, o processo consiste para o preparo da pipetagem (Figura 39), através do método da EMBRAPA (1997), com a separação dos finos e grosseiros, onde retira-se 20 ml de amostra em decantação para secagem na estufa.



Figura 39: Amostras de argila em decantação.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

A relação entre a análise granulométrica e a classe textural do solo é normalmente indicada por um triângulo de classe textural. A definição da classe textural foi descrita de acordo com o Diagrama Triangular indicado pelo U.S.D.A. (*United States Department of Agriculture*) (Figura 40).

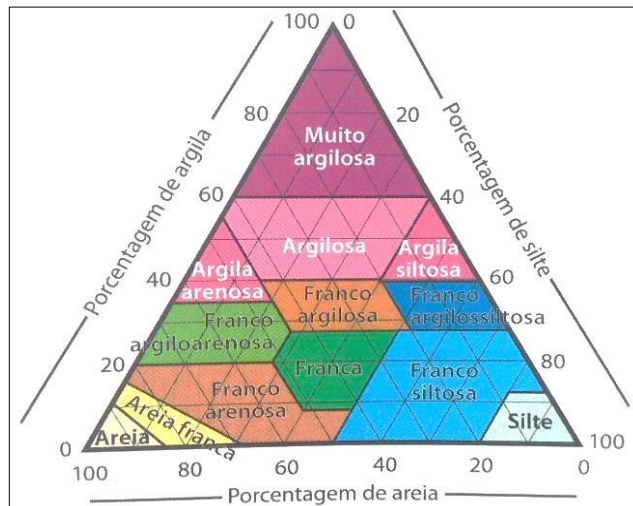


Figura 40: Triângulo de classe textural.
Fonte: Lepsch, 2011.

3.3.2 Capacidade de Infiltração do solo

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. É um processo de grande importância prática, pois afeta diretamente o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico responsável pelos processos de erosão e inundações (FAGUNDES et al, 2012). Posteriormente, foram obtidos: a taxa de infiltração (f) sendo que está é a razão para que entre na superfície do solo através de unidade de tempo (mm/h e mm/min). A equação segundo Reichardt (1990) para a relação da taxa de infiltração e o total de infiltração é descrita por:

$$F(t) = \frac{f \cdot t}{t}$$

Onde:

- F = Total Infiltrado (infiltração acumulada ou total infiltrado)
- f = taxa de infiltração
- t = tempo

Para este trabalho, o equipamento utilizado foi o infiltrômetro tipo *Turf-Tec* (Figura 41) é um equipamento que permite monitorar o índice de infiltração da água no solo. Para isso, a metodologia incide em colocar água no coletor do instrumento (1000 ml) e para cada minuto obtêm-se a quantidade de milímetros infiltrados. Considerou-se que neste ponto a duração do teste foi de 6 minutos, com média de infiltração de 17,77 mm/min.



Figura 41: Infiltrômetro.
Fonte: Daniela Carvalho (2013).

3.3.3 Resistência à penetração do solo

Realizou-se com o equipamento penetrômetro de impacto (Figura 42), que auxilia na caracterização do solo quanto à resistência à penetração. Constitui-se de uma haste de ferro de 1 metro, sendo que a porção inferior é graduada de 5 em 5 centímetros num total de 50 centímetros. A utilização do penetrômetro consiste em soltar um peso de 2 Kg que promove a entrada da haste no solo. Então é contado quantas batidas são necessárias para cada 5 centímetros. Repete-se esse procedimento até que tenha penetrado 50 cm. Posteriormente, os dados obtidos em campo foram lançados em uma planilha no *Excel* e resultando em gráficos com a média das taxas de penetração do solo.



Figura 42. Penetrômetro.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

Como parâmetros para determinar o grau de compactação do solo na área estudada, foram utilizados dados da United States Department of Agriculture (1993) que classifica a resistência do solo à penetração em sete níveis (Tabela 02):

Resistência (Mpa)	
< 0,01	Extremamente baixa
0,01 – 0,1	Muito baixa
0,1 – 1,0	Baixa
1,0 – 2,0	Moderada
2,0 – 4,0	Alta
4,0 – 8,0	Muito alta
>8,0	Extremamente alta

Tabela 02: Níveis de penetração quanto à resistência do solo.
Fonte: USDA, 1993.

3.3.4 Densidades: (D_a) e (D_r)

- Densidade Aparente (D_a)

A densidade do solo ou aparente corresponde à massa por unidade de volume de uma amostra de solo seco, ou melhor, a medida da densidade de todas as partículas do solo, sem considerar os espaços porosos (LEPSCH, 2011). Consiste, de acordo com a EMBRAPA

(1997), em pesar o balão volumétrico com a amostra a fim de obter o resultado para a densidade aparente.

$$D_a = \left(\frac{M_s}{V_s} \right)$$

Em que,

D_s = Densidade aparente do solo (g/cm³)

M_s = massa do solo seco (g)

V_s = volume do solo contido no cilindro (cm³)

A determinação da densidade aparente do solo, de acordo com IBGE (2007) é recomendada em praticamente todos os tipos de levantamentos, por ser de grande relevância sob vários aspectos de seu manejo. Tem implicação direta com a morfologia do solo e, por conseguinte, com a gênese de cada tipo de solo. Indiretamente, reflete o comportamento dos solos no tocante à porosidade, permeabilidade, compacidade, taxa de infiltração e desenvolvimento de raízes.

- Densidade Real (*D_r*)

De acordo com Lepsch (2011), a densidade mais útil às aplicações práticas é a de partículas ou real, porque inclui o espaço poroso, ou seja, aquele que corresponde a massa de solo seco por volume. Realizou-se por meio do método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Serão colocados 21g de TFSA por um dia na estufa a uma temperatura de 105° C. No outro dia recolhemos as amostras e colocadas no secador por cinco minutos para esfriar.

Pesa-se na balança de precisão o béquer para zerar a balança, em seguida adiciona a amostra até que complete 20g exatas.

Após a pesagem, transfere o conteúdo do béquer para o balão volumétrico de 50 ml com a ajuda de um funil sem que se desperdice nada da amostra, depois com a ajuda de um pincel retira-se todos os grãos possíveis.

Com uma pipeta de 20 ml adiciona 20 ml de álcool, logo em seguida agita-se o balão até parar de borbulhar, com a certeza de que não há mais ar na amostra.

Em uma pipeta de 50 ml coloca-se 50 ml de álcool, posiciona-se o balão volumétrico em baixo e adiciona-se o conteúdo até completar os 50 ml do balão volumétrico. Então, se verifica na pipeta a quantidade de álcool necessária para completar os 50 ml do balão e anota-

se esse valor, pois será utilizado para ser aplicado na fórmula de densidade de partículas (real):

$$dp = \frac{a}{50 - b}$$

Onde:

dp - Densidade de partículas (real), em g/m³

a – Peso da amostra seca a 105° C

b – Volume de álcool gasto, onde b = 20 ml + volume de álcool usado para completar os 50 ml do balão volumétrico.

3.4 Degradações na rodovia

Quanto às degradações verificadas envolve assoreamento de canais, perda de área e perda de solo. Aos impactos relacionados à infraestrutura são: os sistemas de drenagem e a pista.

Assim, as degradações ambientais identificadas em campo: assoreamento na maioria dos canais (mais da metade das voçorocas são ligadas à algum vale, logo grande parte é obstruída), risco para a pista com o crescimento considerável de algumas incisões, desmatamento de significativa parcela da vegetação, solo muito exposto podendo provocar desmoronamentos (danos causados com a abertura da pista).

No que se refere aos tipos de materiais encontrados dentro das voçorocas, adotou-se aqui a caracterização elaborada por Casseti (2001), cujo termo tecnógeno é usado para se referir a situação geológico-geomorfológico atual, em que a ação geológica humana ganha destaque significativo, no que tange aos processos da dinâmica externa, em relação a processualidade anteriormente vigente (holocênica) resultam da atividade humana, ou seja, material tecnogênico ou terroso advindo de outras áreas. (CHEMEKOV, 1982; PELOGGIA, 2005).

Dentre os elementos que constituem uma rodovia, a sarjeta de aterro tem como objetivo captar as águas precipitadas sobre a plataforma de modo a impedir que provoquem erosões na borda do acostamento e/ou no talude do aterro, conduzindo-as ao local de deságue seguro (DNIT, 2006). A indicação da sarjeta de aterro deve fundamentar-se nas seguintes situações: – trechos onde a velocidade das águas provenientes da pista provoque erosão na borda da plataforma; – trechos onde, em conjunto com a terraplenagem, for mais econômica a

utilização da sarjeta, aumentando, com isso, a altura necessária para o primeiro escalonamento de aterro.

Outro elemento que constitui uma rodovia é o dissipador contínuo, cujo objetivo é diminuir a velocidade da água continuamente ao longo de seu percurso, de modo a evitar o fenômeno da erosão em locais que possa comprometer a estabilidade do corpo estradal. O dissipador contínuo utilizado ao longo do aterro deve ser construído com uma camada de concreto de aproximadamente 0,50m de largura com espessura de 0,10 m, de acabamento áspero obtido com o assentamento em disposição irregular de pedras de dimensões aproximadas de 7,5cm (DNIT, 2006).

Diversas análises quanto aos impactos e degradações que a implementação de uma rodovia causa têm sido estudadas no Brasil. Brito et al. (2013), em estudo sobre a rodovia MG-010 em Belo Horizonte (MG), relatam que a causa da aceleração dos processos erosivos às margens da referida rodovia constitui um fator difícil de mensurar, pois boa parte deles depende da ação de fatores externos, porquato, nota-se que a eliminação de parte da cobertura vegetal associada à intempérie decorrente do escoamento pluvial, somado a ausência de medidas de mitigação, como construção de “canaletas” de escoamento ou terraplanagem compensada, proporcionou rupturas visíveis no solo, logo, se contrapõem aos problemas semelhantes a rodovia BR-174.

Mantovani (2015) analisa que os impactos e mudanças nos sistemas ambientais físicos, associados à implantação de rodovias, verificados neste trabalho, ocorrem durante a operação, da posição geográfica no sistema geomorfológico e na paisagem (Tabela 03):

Impacto Geomorfológico	Detalhamento	Tipo de Impacto	Fase de Ocorrência	Fatores Associados
Deflagração dos processos erosivos	Processos erosivos intensos, como ravinas, sulcos e voçorocas, associados à movimentação de terra e à desestruturação do solo, expondo seus horizontes mais suscetíveis (FORNASARI FILHO et al., 1992). Na Rodovia BR-174, o horizonte C, mais friável, propício para a deflagração das voçorocas.	Indireto	Implantação	Dimensão e localização dos cortes e aterros.
	Formação de processos e feições erosivas relacionadas à interface pavimento/terreno, como o “efeito cascata” (FORNASARI FILHO et al. 1992).	Indireto	Operação	Impermeabilização do solo e tipo de material utilizado no acostamento e no pavimento.

Tabela 03: Síntese dos impactos potenciais nos sistemas geomorfológicos associados às intervenções de rodovias.

Fonte: Mantovani (2015) adaptado por Daniela Carvalho, 2016.

Quanto ao tipo de revegetação realizada para contenção em áreas suscetíveis à erosão, é feita por vários processos, dentre as quais comumente utilizadas refere-se à implantação no solo das espécies vegetais, através de sementes, mudas isoladas (touceiras) ou em placas, visando à cobertura e proteção total da terra nua ou degradada. O plantio das sementes ou mudas pode também ser realizado a lanço manual de distribuição mecanizada, assim como por hidrossemeadura (BRASIL, 2009).

Guerra (2013) destaca uma medida que pode ser tomada para a recuperação de área degradada pela voçoroca é a Bioengenharia, que é uma medida para estabilização, onde plantas e até partes das plantas são colocadas nos solos sob padrões e configurações especiais,

a técnica possui algumas características como: reforço para o solo, barreiras para a movimentação de terras, concentradores de umidade e drenos hidráulicos. Destaca-se a utilização desta técnica na voçoroca de Sacavén, localizada na cidade de São Luís (MA), na qual foi escolhido um trecho de 2000 m² para a recuperação. Para que a técnica da bioengenharia fosse utilizada, ocorreu a separação em três etapas: a reconstrução dos taludes, a aplicação dos insumos e dos geotêxteis (manta antierosiva colocada sobre o solo na qual é feita de vários materiais), e a manutenção das obras. Após o preparo foram utilizados adubo de palmeira e sementes de capim braquiária, com isso a colocação dos geotêxteis com o intuito de proteção no solo, até a estabilização da encosta a partir da cobertura vegetal. A manutenção da obra é importante devido ao fato de determinar o índice pluviométrico e, também, determinar solos que são suscetíveis ao processo de erosão (FURTADO et al., 2006; GUERRA, 2013).

No entanto, a revegetação ou cobertura vegetal dos solos expostos pela construção rodoviária é o processo natural para se atingir os efeitos desejados na reabilitação ambiental destas áreas afetadas, especialmente, quando a estrutura fértil do solo é quebrada pelas atividades da construção, tornando-se cada vez mais infértil, à medida que se aprofundam as caixas de empréstimo e os taludes dos cortes ou jazidas concentradas de solos, onde os mesmos são bastante ácidos e tóxicos pela presença do alumínio, ferro e outros metais. Os custos para o replantio, de acordo com DNIT (2003), são obtidos através do cálculo que varia conforme a área estimada e o valor por unidade em m³ (Figura 43).

	FERRAMENTAS MANUAIS	20,51%	29,05	5,96	
	CUSTO HORÁRIO DE MÃO-DE-OBRA - TOTAL			35,01	
PRODUÇÃO DA EQUIPE					
	1,00 m/h		CUSTO HORÁRIO TOTAL	37,22	
			CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO	37,22	
MATERIAIS		UNIDADE	CUSTO UNITÁRIO	CONSUMO	CUSTO TOTAL
A.01.780.01	OBTENÇÃO DE GRAMA PARA REPLANTIO	m ²	1,54	2,6000	4,00
A.01.891.01	ESCAVAÇÃO MANUAL EM VALAS EM MAT.1ª CATEGORIA	m ³	40,48	0,2800	11,33
A.01.893.01	COMPACTAÇÃO MANUAL	m ³	12,41	0,2000	2,48

Figura 43: Composição de preço unitário de valeta de proteção de aterro.
Fonte: BRASIL, 2003.

Considera-se ainda que para a recuperação dessas áreas seja necessário estudo para que não haja comprometimento na sua estrutura, sendo assim, vários fatores ambientais interferem no revestimento vegetal: **climático**, considerando os períodos de precipitação mensal e anual para a região; **edáfico**, a natureza e o estado do solo são responsáveis pelo

maior ou menor dano ambiental ocorrente nas áreas de uso da construção rodoviária; **fitofisionomia regional**, relativo às espécies vegetais com influência rodoviária e na **seleção das espécies vegetais**, ligado à longevidade, produção de biomassa e biodiversidade faunística e florística da área (BRASIL, 2009). Posteriormente, classificam-se em faixas de domínio, as áreas para recobrimento vegetal às margens do corpo estradal, como exemplo, na (Figura 44) abaixo:

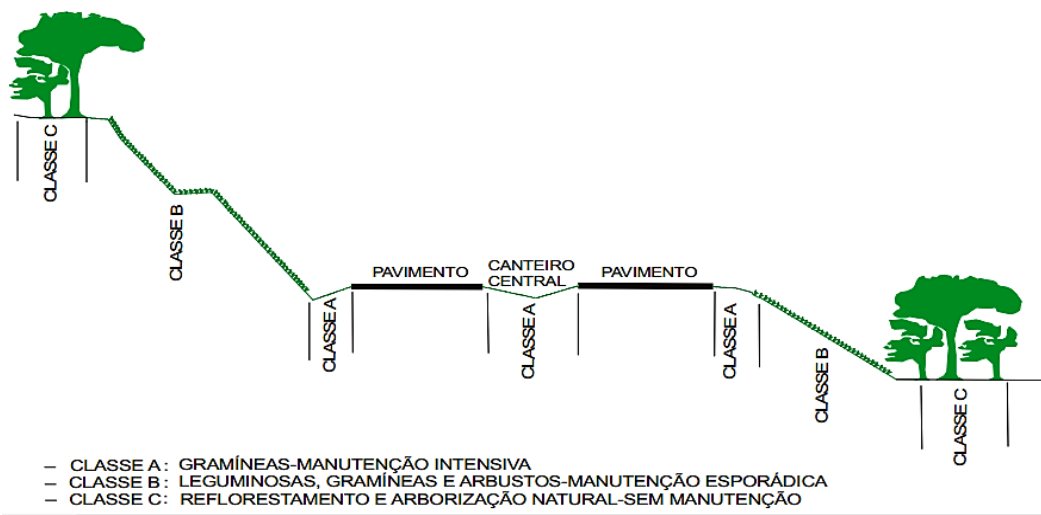


Figura 44: Distribuição das subáreas classes A, B e C.
 Fonte: BRASIL, 2009.

Os processos para preparo do revestimento vegetal, realizadas nas áreas degradadas, especificadas abaixo, de acordo com o Manual de Vegetação Rodoviária do DNIT (2009):

- ✓ Por placas ou leivas de gramíneas, denominado (**enleivamento**) consiste no plantio direto de placas nos taludes de aterros e bota-foras previamente preparados, bem como nas áreas destinadas à implantação do paisagismo, objetivando a estabilização imediata do solo, a reabilitação ambiental da área e a recomposição paisagística. Recomenda-se o emprego da revegetação em leivas, a fim de se evitar a manifestação dos processos erosivos em áreas afetadas pela construção, devendo-se processar o enleivamento, imediatamente após o uso da área ou a confecção do corpo estradal, pois áreas eventualmente expostas por longo tempo às intempéries podem ser degradadas pela manifestação de processos erosivos;
- ✓ Outro procedimento para introdução de revestimento é **plantio da grama em placas**, uma vez preparado e adubado o solo, as placas devem ser colocadas

justapostas e alternando as emendas (tipo manta junta) sobre a superfície, seguindo-se com a aplicação de terra para preencher as depressões ou vazios entre as placas, porventura existentes. Na colocação das placas deve-se evitar a coincidência das junções no sentido vertical, independentemente da declividade da superfície, pois a continuidade das juntas neste sentido favorece o processo erosivo nas mesmas, bem como, é indispensável à fixação das placas em terrenos inclinados, para evitar o seu escorregamento.

Segundo a Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias, as estradas de rodagem provocam extensas modificações territoriais, além das áreas de intervenção em seu eixo, compreendendo dimensões regionais, e, portanto, é um dos empreendimentos impactantes do ambiente (ANEOR, 1992). Entretanto, as providências necessárias, que deveriam ser tomadas, ocorrem que acabam não sendo corretamente concretizadas por dificuldades que os órgãos responsáveis pelas estradas no âmbito municipal, estadual e federal enfrentam, justificam como umas das causas à falta de verba pública, direcionada também, por dificuldades na prevenção da erosão. Nogami e Villibor (1995) afirmam que os processos de erosão são comumente encontrados na reconstrução de rodovias e devem ser objetos de estudos minuciosos, de modo a evitar efeitos danosos ao ambiente. Rodrigues (1995) considera que as causas de erosão em estradas são conhecidas há longo tempo e de tão óbvias sua observação chega a ser simplista, rotineira e até elementar. O autor prolonga o fato de que os pequenos danos erosivos no início, facilmente reparáveis, atingem em pouco tempo proporções que mudam a escala das soluções exigindo técnicas sofisticadas e caras.

3.5 Previsão de risco erosivo dos pontos com voçorocamento

O controle preventivo da erosão relacionada à estrada realiza-se através da proteção vegetal dos cortes, aterros e terrenos adjacentes, da implantação de um sistema de drenagem eficiente e de medidas mitigadoras na instalação de caixas de empréstimo (CUNHA, 1991).

Para Cunha (1991, p. 56), as obras de um sistema de drenagem eficiente para evitar as erosões:

Implantação dos bueiros e galerias de modo que suas descargas sejam feitas dentro de canais naturais, utilizando dissipadores de energia no local de descarga; implantação de bueiros e/ou galerias de comprimento suficiente para um afastamento adequado da

saia do aterro, providos de dissipadores de energia do tipo escada de concreto; instalação de meios fios conjugados a sarjetas e descidas d'água, nos taludes dos aterros e, para vazões maiores, implantar dissipadores na extremidade das descidas d'água; monitorar os dispositivos de drenagem durante e após as chuvas fortes, para verificar o seu perfeito funcionamento.

A escala empregada para risco foi à proposta por Tavares e Vieira (2010), no qual esse dado está relacionado à evolução das voçorocas em relação à pista, bem como a previsão de risco das incisões. O Quadro 02 indica qual a descrição por nível em escala de meses de determinada voçoroca:

Quadro 02: Escala de risco erosivo

Nível	Intervalo (m)	Descrição	Meses
01	0 – 3	Risco imediato	0 - 6
02	3 – 6	Risco a curto prazo	6 - 15
03	6 – 15	Risco a médio prazo	15 - 36
04	>15	Risco a longo prazo	> 36

Fonte: Tavares e Vieira (2010).

Realizou-se 2 monitoramentos no intervalo de 4 meses e 20 dias, onde a obtenção dos resultados foi aplicada através da escala de risco erosivo por meio do crescimento da incisão dividido pelo tempo. Obteve-se a diferença em média da taxa de crescimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

- **Localização das voçorocas**

Foram localizadas 21 voçorocas ativas (Figura 45), tendo sido 21 voçorocas ativas, que surgem a partir do Km 5,3 até o Km 56,4 no limite do município de Manaus.

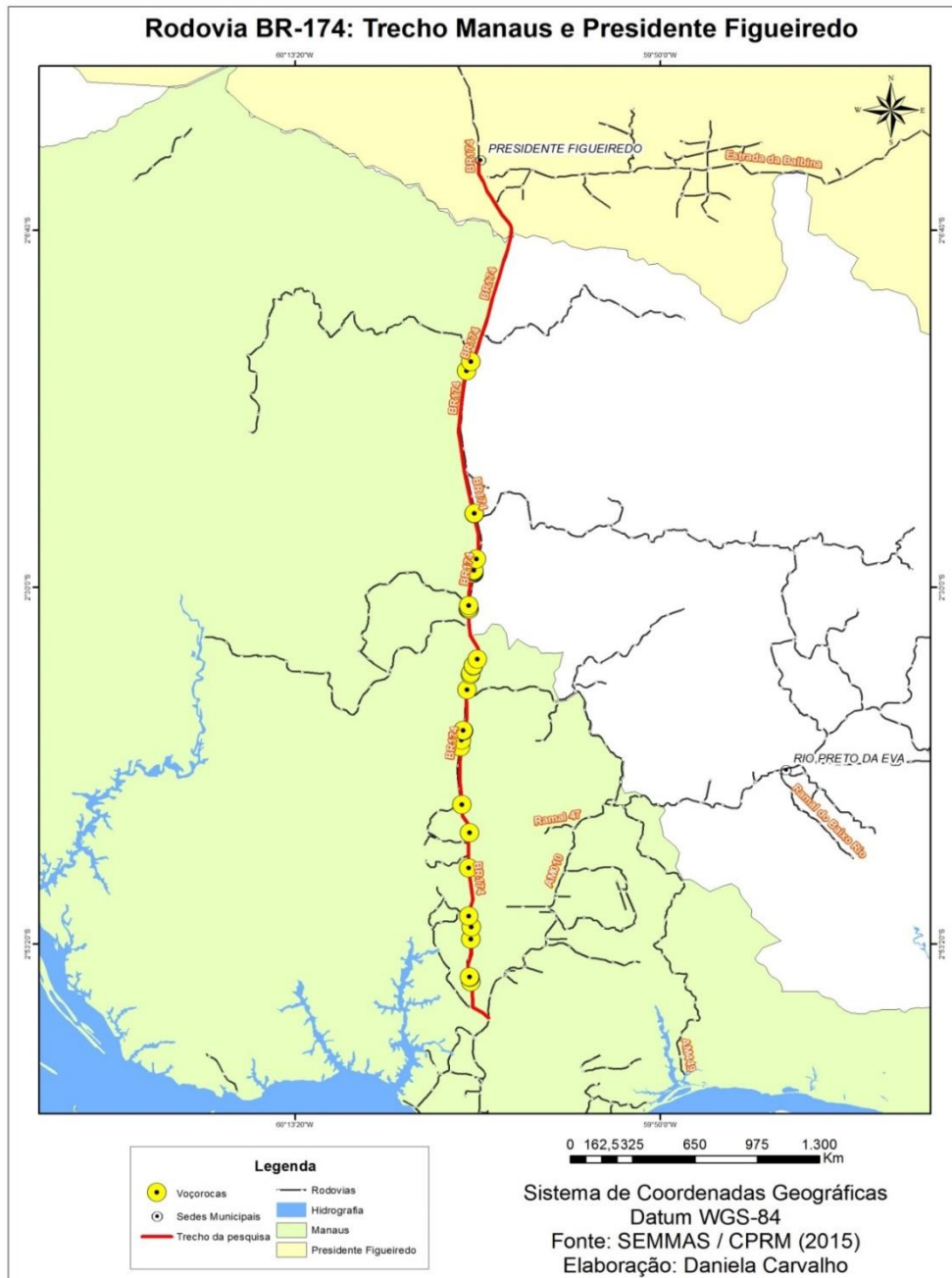


Figura 45: Voçorocas no trecho da pesquisa
 Organização: Daniela Carvalho, 2016.

4.1 Caracterização da morfometria das voçorocas

O monitoramento é uma ferramenta importante na detecção de problemas ambientais, por meio de um acompanhamento contínuo e sistemático com o objetivo de identificar e avaliar, qualitativa ou quantitativamente, as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo, fornecendo informações sobre os fatores que influenciam o estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental da região estudada (EMBRAPA, 2015; RUBIRA, 2016).

Com esta premissa, o monitoramento que ocorreu no primeiro campo realizado no dia 23/03/2016, foram mapeadas 32 voçorocas, sendo que destas, 17 incisões estavam contidas e 15 ativas. Porém, indícios mostravam que a reativação de algumas incisões podia ocorrer.

No segundo campo, no dia 16/08/2016, 21 incisões estavam ativas (Tabela 04) e 13 haviam recebido contenção.

Em trabalhos prévios feitos por Vieira e Albuquerque (2004) foram identificadas 31 incisões, Tavares (2010) cadastrou 29 incisões, Lima (2013) obteve-se 23 voçorocas.

A redução no número de incisões comparando com o trabalho feito em 2010 deve-se pela contenção significativa feitas com aterro e replantio de vegetação, para contenção de incisões que proporcionavam risco imediato para a pista.

VOÇOROCA	KM	TIPO*	FORMA	ORIENTAÇÃO	DIST. PISTA (m)	COMP. (m)	LARG. (m)	PROF. (m)	ÁREA (m ²)	VOL. EROD. (m ³)
01	5.3	II	Linear	NE/SO	6,9	159,0	13,0	10,0	2,067	20,670
02	5.9	II	Irregular	NE/SO	4,60	43,80	18,50	13,50	810,3	10,939,05
03	5.9	II	Irregular	NE/SO	4,60	36,0	21,90	12,90	788,4	10170,36
04	12.1	II	Retangular	NE/SO	2,30	11,0	13	2,5	143	357,5
05	24.1	I	Ramificada	SE/NO	4,90	75,6	26	4,8	1965,6	9434,8
06	27.5	I	Ramificada	NO/SE	15,60	29,30	24,70	6,15	723,71	4450,81
07	34,8	I	Ramificada	NO/SE	5,80	26,90	22,0	3,80	591,8	2248,84
08	36	I	Ramificada	NO/SE	19,50	5,8	13,8	8,9	80,04	712,3
09	37	II	Retangular	NO/SE	2,70	38,0	16,70	3,30	634,6	2094,18
10	37	II	Retangular	N/S	3,70	67,0	18,10	8,70	1212,7	10550,49
11	42	I	Bifurcada	NE/SO	9,10	28,10	51,0	2,0	1433,1	2866,2
12	43	III	Retangular	NE/SO	13,20	18,0	6,75	4,10	121,5	498,15
13	43,5	III	Linear	NE/SO	1,95	136,80	13,2	3,7	1805,76	6681,31
14	44	I	Ramificada	NE/SO	2,50	52,0	92,0	6,50	4,874	31,096
15	45	I	Linear	NE/SO	4,75	86,30	73,7	4,80	6360,31	30529,43
16	51,6	I	Irregular	N/S	18,30	59,40	4,90	7,60	291,06	2212,05
17	51,6	I	Ramificada	N/S	76,0	12,0	8,0	6,10	96,0	585,6
18	52	II	Ramificada	NO/SE	15,80	69,0	32,5	6,30	2242,5	14127,75
19	56,1	II	Retangular	NE/SO	19,50	33,40	120,0	4,0	4,008	16,030
20	56,1	II	Ramificada	NE/SO	330,0	136,70	22,30	11,32	3048,41	34508,00
21	56,6	III	Irregular	NE/SO	6,63	128,50	28,5	8,50	3662,25	31129,12

Tabela 04: Características das voçorocas monitoradas. (***Tipo**: I=conectada; II=desconectada e III=integrada).
Org. Daniela Carvalho, 2016.

Localizada no km 5.3, a voçoroca 01 apresentou o maior comprimento 159,0m, mas quanto a largura 13,00m e profundidade 10,00m não é relativamente maior em área 2,067 m² se comparada a maior incisão por área, a voçoroca 15 do km 45 equivalente a 6.360,31 m². Ambas são proporcionalmente iguais em comprimento, porém, em termos de área e volume erodido são diferentes.

No monitoramento 01 em comparação ao monitoramento 02 (Tabelas 05 e 06), as médias das taxas de volume erodido de 20408,8m³ e 23229,2m³, respectivamente, não houve

grande aumento dos índices, levando-se em consideração os períodos do clima, no primeiro ao segundo trimestre do ano, geralmente com características de maiores índices de precipitação e no penúltimo trimestre, data do último monitoramento, com temporadas de recuperação por parte do DNIT.

MONITORAMENTO 01 - DATA: 13/03/2016		
VOÇOROCA	ÁREA (m²)	VOL. EROD. (m³)
1	2051,1	11281,0
2	810,3	4456,6
3	165,6	2136,2
4	143,0	357,5
5	1965,6	9434,8
6	723,7	4450,8
7	591,8	3432,4
8	80,04	712,3
9	1397,6	7267,5
10	1212,7	10550,4
11	1292,6	2585,2
12	121,5	498,1
13	1805,7	6681,3
14	6004,0	39026
15	6472,5	31,068
16	96,0	585,6
17	47,5	66,5
18	539,4	3398,2
19	3032,8	25778,8
20	4008,0	16,032
21	3726,5	316675,2
TOTAL	36287,94	449421,5
MÉDIA	1464,3	20408,8

Tabela 05: Volume médio monitoramento 1.
Org. Daniela Carvalho, 2016.

MONITORAMENTO 02 - DATA: 23/08/2016		
VOÇOROCA	ÁREA (m²)	VOL. EROD. (m³)
1	2058,8	9264,7
2	4504,1	24332,3
3	165,6	2119,6
4	154	385,0
5	1965,6	9434,8
6	723,7	4197,4
7	667	1800,9
8	80,04	712,3
9	1504,5	7402,1
10	1221,7	8674,5
11	1255,8	3265,1
12	121,5	498,1
13	2066,4	6199,2
14	6065,2	39487,1
15	3705,1	17784,5
16	96,0	585,6
17	47,5	66,5
18	539,4	3398,2
19	3032,8	19713,2
20	1950	11817,0
21	3726,5	316675,2
TOTAL	35651,24	487813,3
MÉDIA	1697,6	23229,2

Tabela 06: Volume médio do monitoramento 2.
Org. Daniela Carvalho, 2016.

Das 21 voçorocas, 5 apresentaram volume erodido até 999 m³, classificadas como muito pequenas; 11 incisões com volume erodido (Gráfico 01) entre 1.000m³ e 9.999m³, classificadas como pequenas; 3 de tamanho médio, entre 10.000m³ e 19.999m³ e 2 de tamanho grande, entre 20.000m³ e 40.000m³.

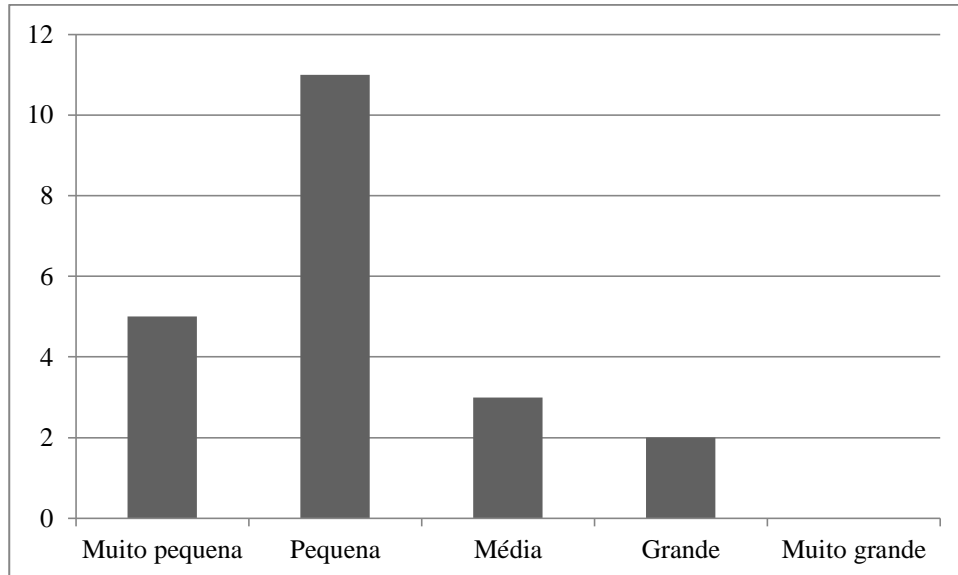


Gráfico 01: Volume erodido.

Das 21 voçorocas localizadas no segundo cadastro 10 incisões eram do tipo I – Conectadas; 9 do tipo II – Desconectadas; e 2 incisões do tipo III – Integradas encontra-se 2 incisões (Gráfico 02). De acordo com Vieira (2008), as voçorocas do tipo conectadas estão relacionadas à rede de drenagem, sendo consideradas canais de primeira ordem; as do tipo desconectadas, não possui conexão com canal de drenagem, sendo ligadas ao escoamento superficial e as do tipo integradas é a integração dos dois primeiros tipos, sendo estágio mais avançada da voçoroca, resultando em uma incisão.

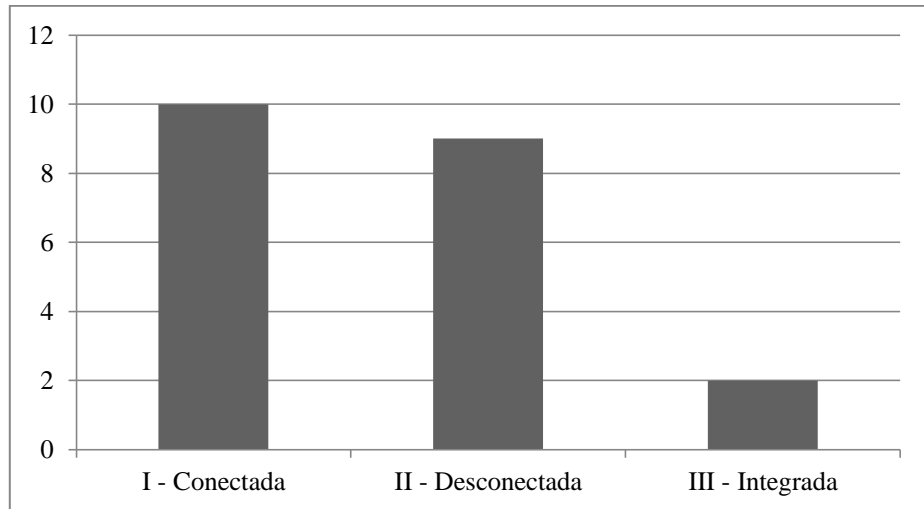


Gráfico 02: Tipos das voçorocas monitoradas.

Quanto à forma das voçorocas, 3 permanecem como lineares, 1 é bifurcada, 4 irregulares, 8 ramificadas e 5 são retangulares, sendo esta última relacionada ao estágio mais avançado da incisão (Gráfico 03).

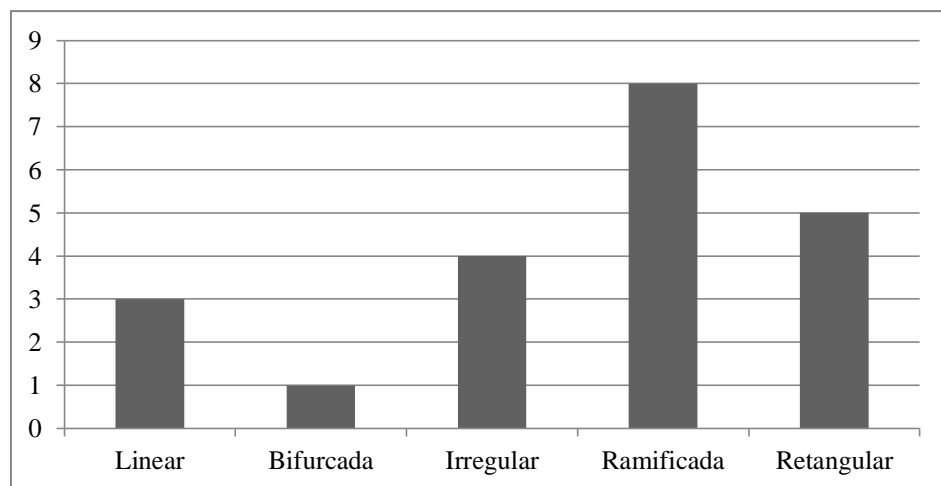


Gráfico 03: Forma das voçorocas.

Houve diminuição no comprimento (Gráfico 04) da voçoroca 15 em relação ao quanto ao primeiro monitoramento, resultado de contenção parcial; observou-se que a voçoroca 20 teve um acréscimo devido à antiga contenção apresentar destruição parcial da canaleta na cabeceira e nas bordas da incisão, vista no primeiro cadastramento.

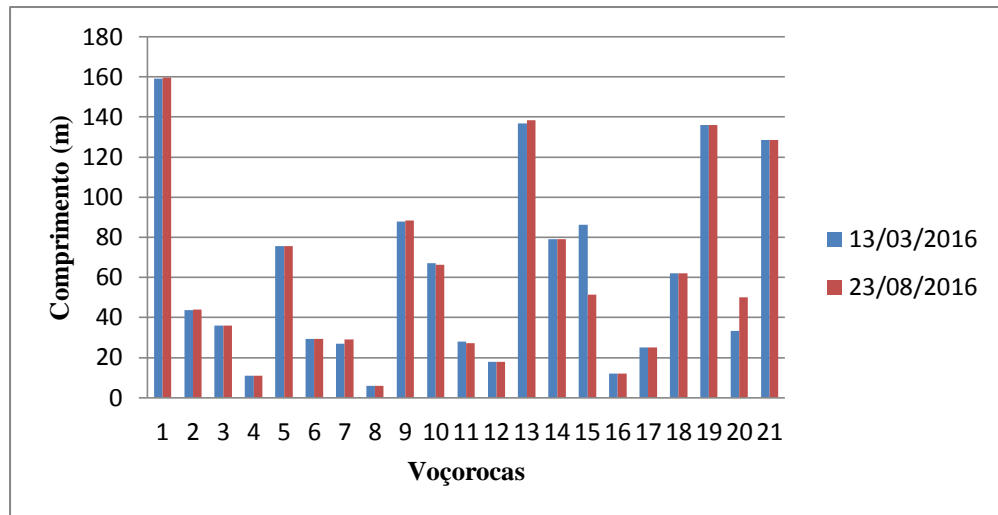


Gráfico 04: Comprimento das incisões.

Quanto à largura das incisões, a voçoroca 20 no primeiro monitoramento apresentava-se sem contenção nas bordas; no segundo monitoramento houve contenção parcial dentro da incisão e nas bordas com plantio de vegetação (Gráfico 05).

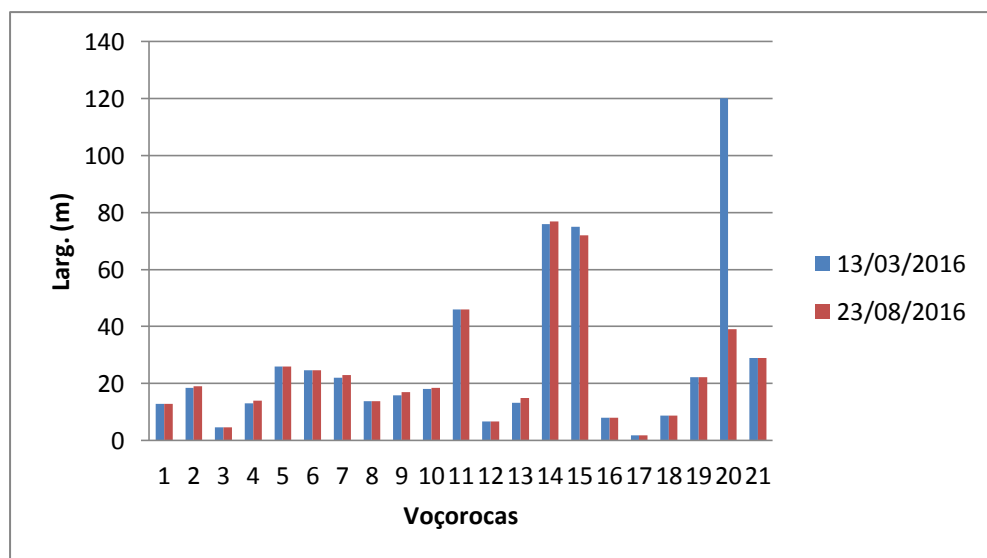


Gráfico 05: Largura das voçorocas.

Nas voçorocas 7, 9, 13 e 19, as profundidades apresentaram-se altas, em relação ao segundo monitoramento. No primeiro cadastramento, os valores foram proporcionalmente elevados, mas, a perda de sedimentos ocorreu mais rapidamente no penúltimo semestre, ocasionado pelas contenções pontuais (Gráfico 06).

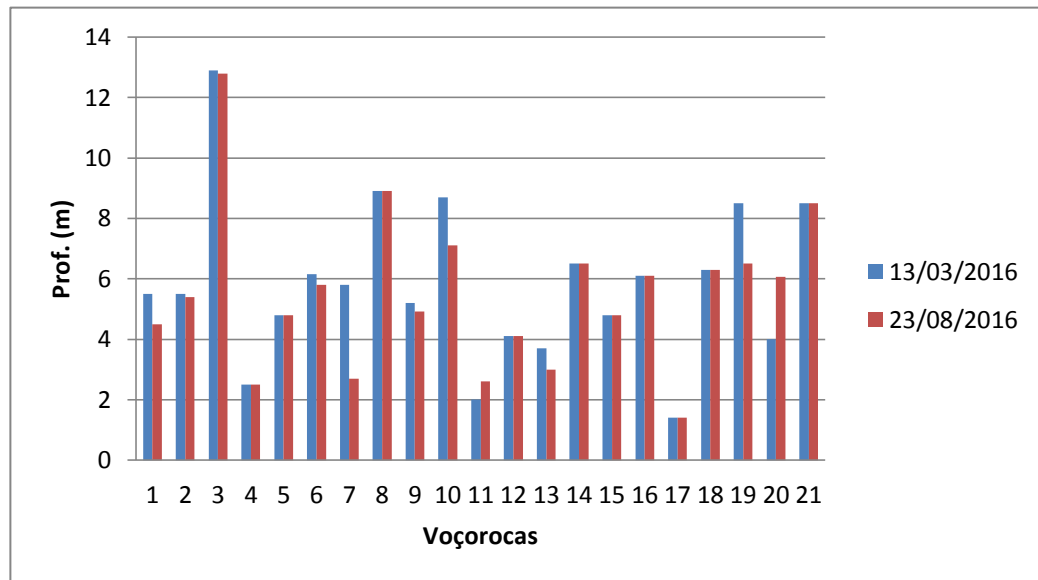


Gráfico 06: Profundidade em metros das incisões.

4.2 Aspectos ambientais

- **Análise da Topossequência**

O ponto escolhido para a realização da topossequência (Figura 46 **A**, **B** e **C**) está localizado próximo à margem da rodovia, do Km 39, na entrada do ramal da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas. Analisou-se ainda por meio de 2 tradagens até 1,50m em cada, coletas de amostras do solo, 1 teste de infiltração e 1 teste de penetração do solo.

Para finalidade da caracterização da área, quanto ao solo e vegetação, dividiu-se em 2 ambientes: com o **Ponto de Tradagem (T1)**, teste de infiltração e penetração e com o **Ponto de Tradagem (T2)**, não foram gerados os resultados quanto aos testes de infiltração e penetração, devido a erro na leitura, aferidos em campo.

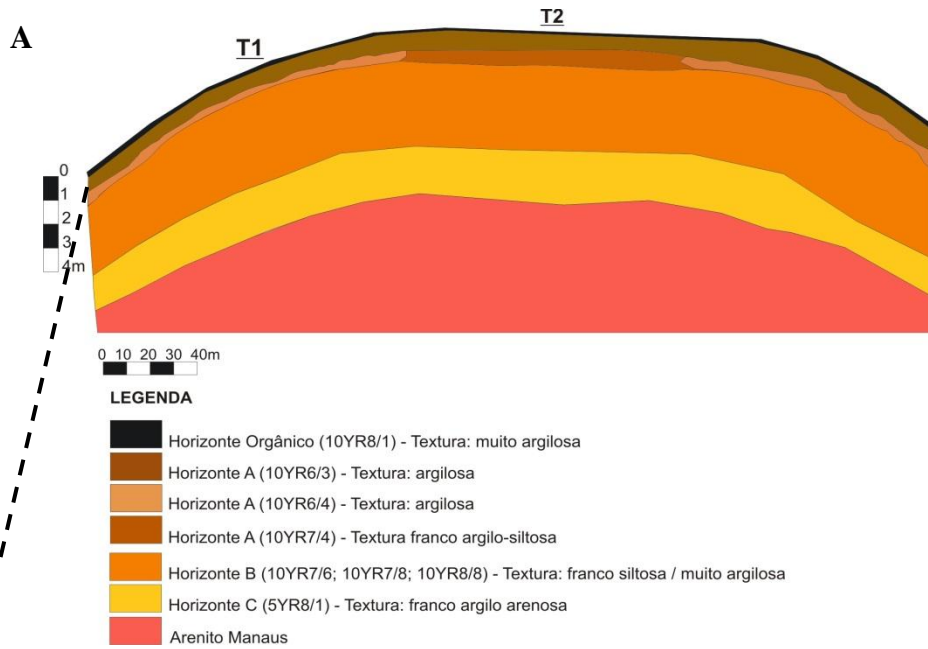
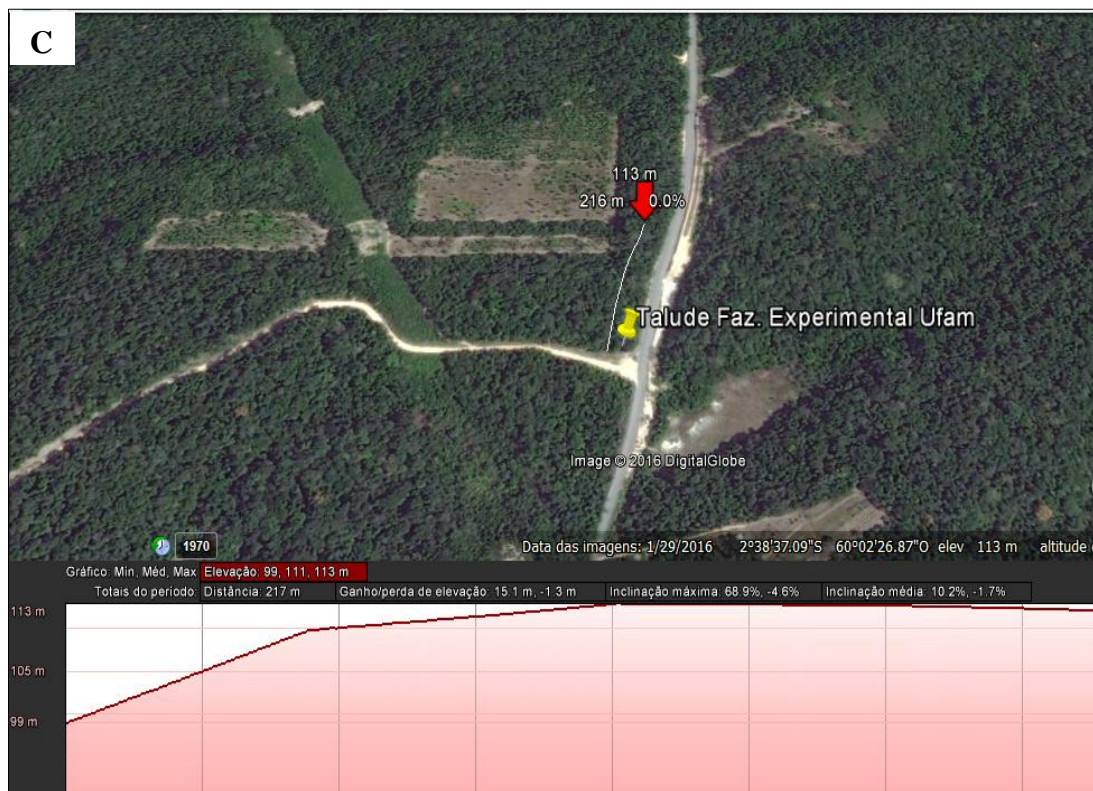


Figura 46 (A): Topossequência e pontos de tradagem (T1 e T2)
Orgs. Antonio Fábio S.G. Vieira e Daniela Carvalho, 2016.



Figuras 46: (B) Local da Topossequência e (C) Perfil de elevação da área.
Org.: Daniela Carvalho, 2016.

A amostra de solo foi armazenada em sacos plásticos devidamente identificados com as sequências em que eram realizadas as tradagens, conforme a seguir (BR 1.1) e, posteriormente, identificadas de acordo com as cores de cada amostra, com auxílio da escala de cores *Munsell*.

As relações entre solos, relevo e vegetação são caracterizadas por serem dependentes. Sendo assim, a topossequência foi gerada através da curvatura do terreno, para confirmação das características pedológicas. A classe de solo predominante na região é a Latossolo Amarelo, que são solos característicos de áreas planas ou colinas suaves e topos de pequenos morros com declividade entre 1 e 10%, apresentam diferentes texturas.

- Ponto de Tradagem (T1)

A classificação textural do solo das parcelas de erosão, que seguiu os parâmetros da *United States Department of Agriculture (USDA)*, apresentou texturas de argilosa a muito argilosa neste perfil de solo (Figura 47). As amostras (Tabela 07) variaram com taxas mais elevadas entre argila e silte, respectivamente. Nas amostras BR 1.1, 1.4 e 1.5 o teor de argila é mais significativo. Nas amostras BR 1.2 e 1.3, as texturas correspondem a maiores teor de silte. Por esta amostragem ser característica de solo argiloso, da classe Latossolo amarelo, mesmo assim, os solos analisados possuem baixas taxas das frações areia: BR 1.4 (14,20%) e BR 1.5 (12,7%).

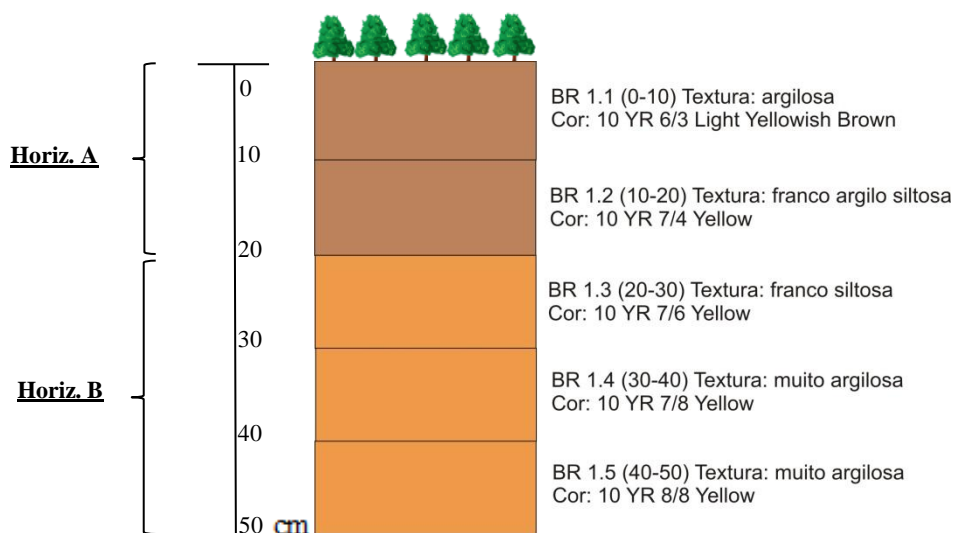


Figura 47: Perfil de solo, Ponto de tradagem (T1).

AMOSTRA	BR 1.1	BR 1.2	BR 1.3	BR 1.4	BR 1.5
	Percentual (%)				
Areia	18,90	15,92	16,63	14,20	12,70
Silte	22,65	55,70	62,39	19,93	15,80
Argila	58,45	28,37	20,98	65,87	71,50

Tabela 07: Amostragem de solo – (T1).

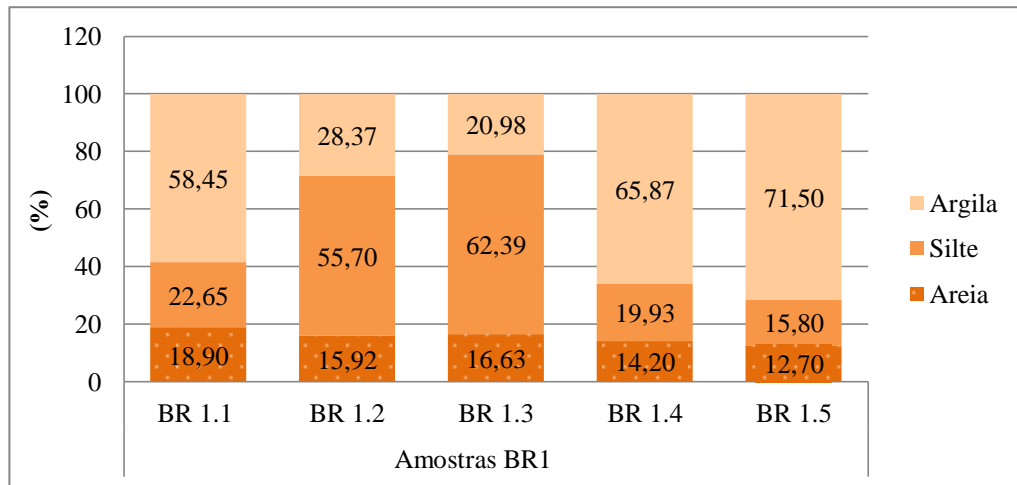


Gráfico 07: Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia (T1).

No Gráfico 07, as taxas de argila são quase proporcionais com as de silte, destoando nas amostras 1, 4 e 5, as amostras 2 e 3, apresentam a textura franco argilo-siltosa e franco siltosa, respectivamente. Nesta perspectiva, Cantalice et al. (2005) propõe que a fração de silte, não possui alta capacidade de agregação, o inverso com a argila, que é fração mais difícil de remoção, pois possui maior capacidade de agregação. O silte é extremamente suscetível à erosão; a argila é importante para a manutenção da coesão dos solos (GUERRA e CUNHA, 2008b).

Na região, a classe de solo predominante é o Latossolo Amarelo, formada em condições de relevos bem drenados, variando de plano a ondulado, geralmente compostos por material argiloso a argilo-arenoso, de coloração amarelada à ocre, tendendo serem mais argilosos no topo dos platôs dos perfis lateríticos, atestando conforme encontrado em campo e posterior análise granulométrica.

Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água entre estes a infiltração e a redistribuição. O conhecimento da taxa de infiltração é muito importante também para quantificar a parcela de chuva que não infiltra no solo, ocasionando o escoamento superficial (GALLO et al., 2015).

O gráfico da infiltração (Gráfico 08) de água no solo mostra uma média de volume infiltrado com picos no intervalo de 1-3 minutos. A determinação da taxa de infiltração do solo, conforme (IBGE, 2007), consiste na determinação da velocidade de entrada de água no solo, mede a capacidade do solo de absorver água. Verifica-se, portanto, que a taxa de infiltração é rápida nos primeiros minutos, vindo a se estabilizar entre os últimos minutos.

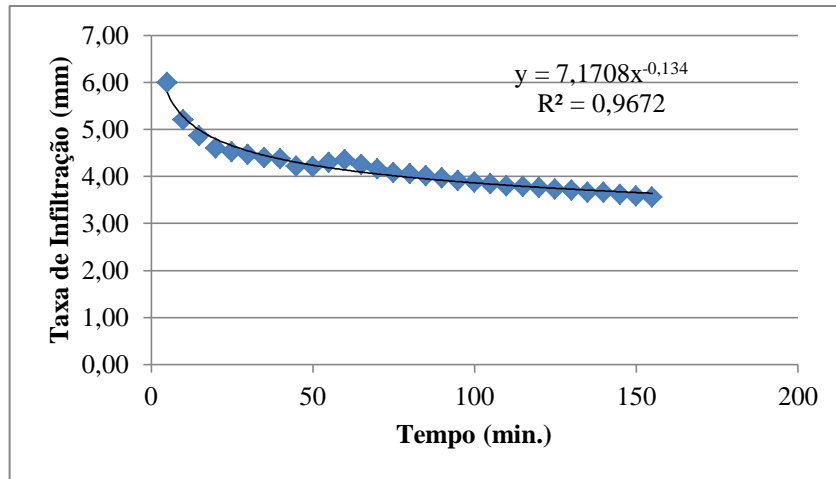


Gráfico 08: Taxa de infiltração ponto de tradagem (T1).

Conforme o Gráfico 09, neste ponto amostrado, na profundidade de 0 a 5 cm, a superfície é caracterizada por ser compactada e solo menos coeso. De acordo com o nível de resistência aplicado, oscila entre 2 e 3 MPa (Megapascal=Unidade medida de pressão e tensão/SI) no restante das batidas, descrita por resistência alta.

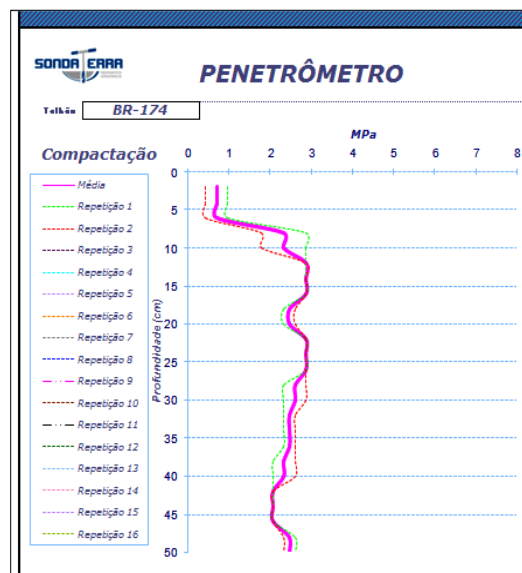


Gráfico 09: Resistência do solo – Ponto de tradagem (T1).

- Ponto de Tradagem (T2)

A descrição do perfil de solo do Ponto T2 configura-se por apresentar textura variando de argilosa a muito argilosa (Figura 48). Apresentou após a camada de matéria orgânica (Horizonte O), o horizonte A, com variações de matizes (10 YR 6/3 e 6/4), logo, a primeira (6/3), apresenta coloração mais escurecida, proveniente do horizonte O.

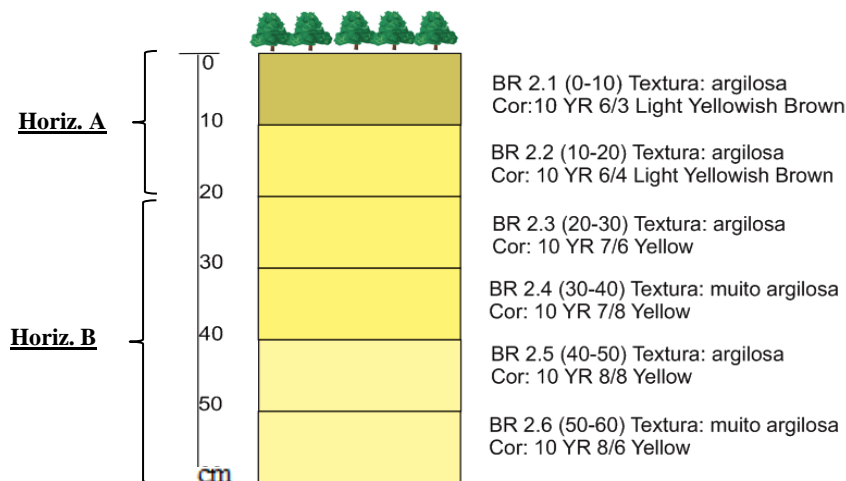


Figura 48: Perfil do solo – Ponto de tradagem T2.

AMOSTRA	BR 2.1	BR 2.2	BR 2.3	BR 2.4	BR 2.5	BR 2.6
Quantidade	Percentual (%)					
Areia	20,05	14,40	11,20	7,67	7,75	7,10
Silte	36,92	26,77	34,20	28,65	34,10	17,85
Argila	43,02	58,82	54,60	63,67	58,15	75,05

Tabela 08: Amostragem de solo – Ponto de Tradagem (T2).

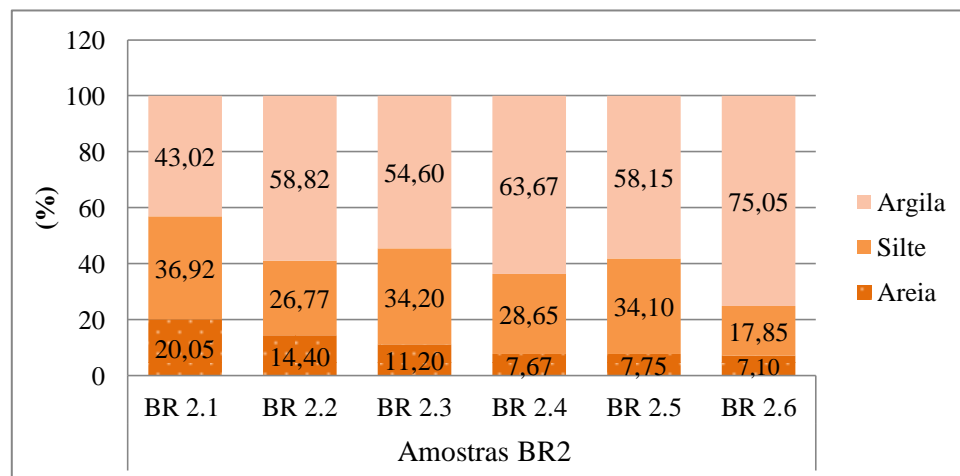


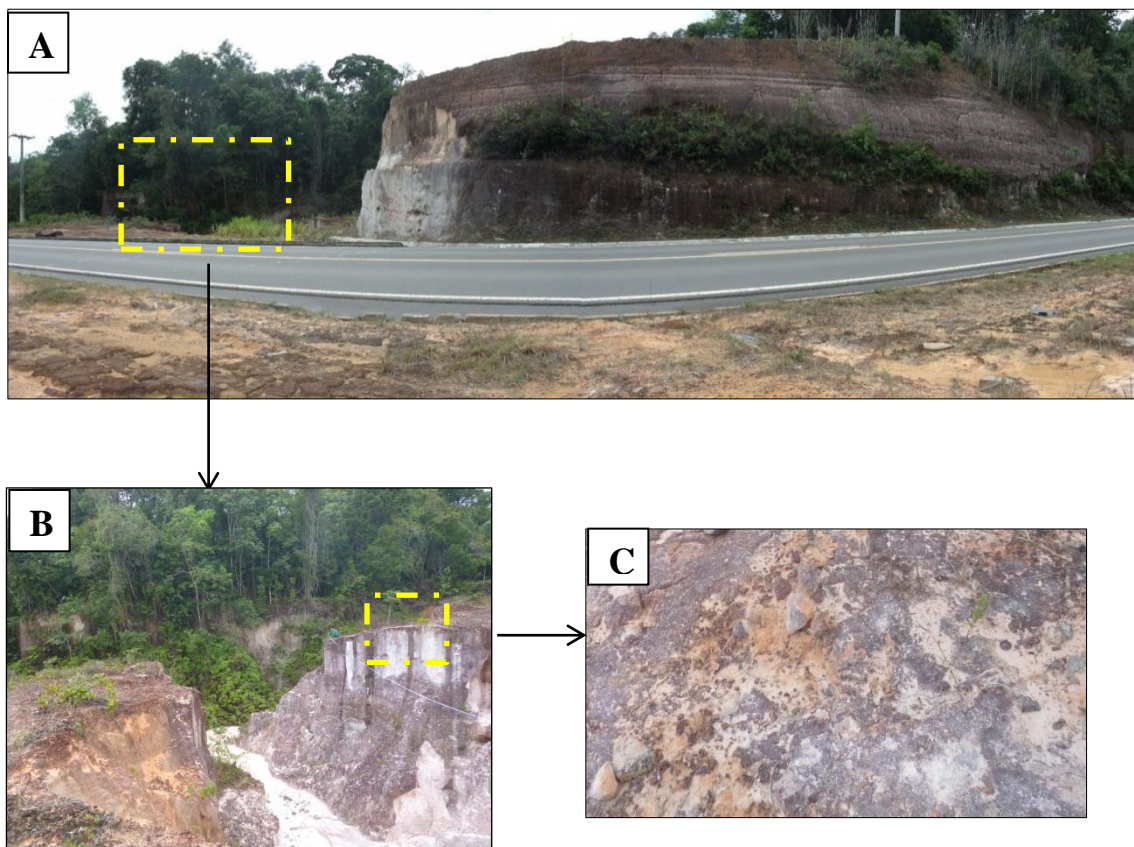
Gráfico 10: Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia, Ponto de Tradagem (T2).

As amostras (Tabela 08) variaram com taxas mais elevadas entre argila e silte, respectivamente. Em todas as amostras, o teor de argila é mais significativo. Sendo o último ponto (BR 2.6, 50-60cm), a porcentagem de argila (75,05%) ser mais elevada, denota-se um solo característico da classe de Latossolo, profundo e de boa drenagem. Quanto aos índices de areia, os menores valores oscilaram entre 7,1% a 7,675%.

No Gráfico 10, as taxas de argila são mais elevadas em todas as amostras. Observa-se que as taxas de areia são menores se comparadas com as do Ponto de tradagem T1. Com relação à profundidade, o percentual de argila no ponto BR 2.6 (75,05%), demonstra que quanto mais profundo, maior o valor de argila, conseqüentemente, por ser mais agregado e menos erodível nesta profundidade.

- Área degradada

Além do comportamento do solo e relevo, através da topossequência foram realizados ainda coleta de amostras, 1 teste de infiltração e outro de penetração, em ambiente próximo à uma borda de voçoroca localizada no Km 34 (Figuras 49 A, B e C).



Figuras 49: A) Imagem em perfil através de talude na rodovia; B) Voçoroca e C) Solo encrostado em uma das bordas da incisão (Borda direita).

A comparação entre o ambiente de floresta (topossequência) com o ambiente degradado (voçoroca) foi analisado *in situ*, laboratório (análises física e granulométrica) e posteriormente, perfil do solo, com o intuito para obter textura do solo, a capacidade de infiltração e resistência do solo a penetração.

Quanto ao perfil de solo do Ponto 3 do Km 34 (voçoroca), a configuração da textura é franca a franco argilo-arenosa (Figura 50). Ao relacionar solos de classificação franco-argilo-arenosos com as taxas de escoamento superficial e o processo de desagregação do mesmo, pode ser uma das causas para a probabilidade de incisão erosiva, pois à medida que aumenta a concentração do fluxo de escoamento, isso devido a sua natureza física e, aliado a essa limitação, ao intenso processo de degradação, devido à retirada da cobertura vegetal, corrobora na diminuição das taxas de material orgânico e, portanto, na menor agregação do solo, deixando-o menos resistente aos agentes exógenos, como a erosão (MORGAN, 2005; PEREIRA et al., 2016).

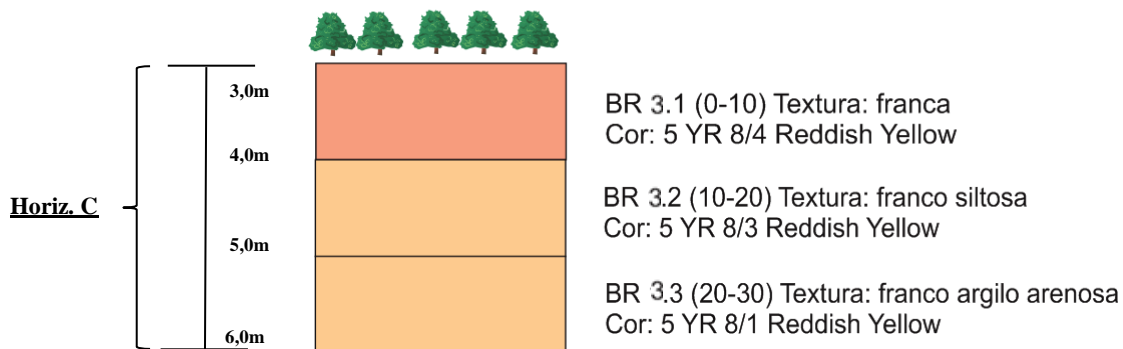


Figura 50: Perfil do solo – Ponto de tradagem T2.

Amostra Voçoroca Km 34	Percentual (%)		
	BR 3.1	BR 3.2	BR 3.3
Areia	43,40	40,50	69,55
Silte	38,60	58,77	7,20
Argila	18,00	0,72	23,25

Tabela 09: Amostragem de solo – Ponto de tradagem (T3).

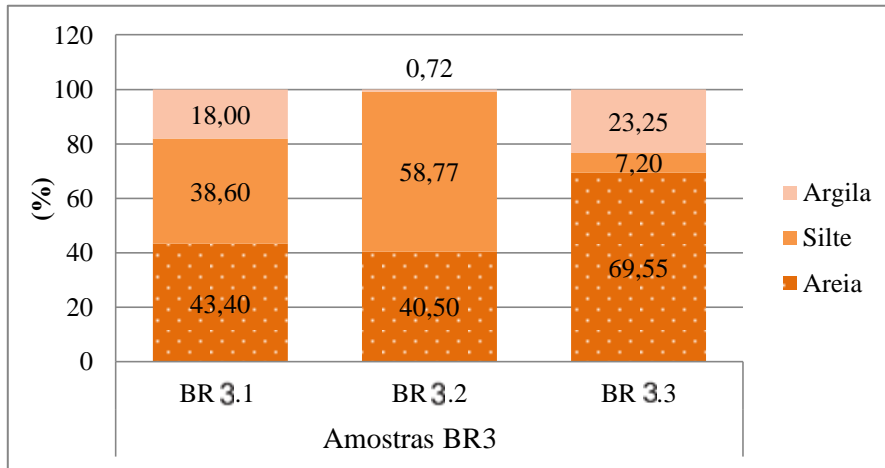


Gráfico 11: Distribuição dos valores (%) de argila, silte e areia.

Essa área, por apresentar o horizonte C exposto, tem elevada facilidade à erosão de solo e interfere diretamente no processo de drenagem da água. Conforme Pereira et al. (2016) estes fatores culminam na rápida saturação do solo, devido ao baixo volume que a rede porosa apresenta para absorver o líquido proveniente das precipitações. Em função da textura superficial mais arenosa, que favorece os processos erosivos, e da fragilidade textural e estrutural (EMBRAPA, 2015).

As amostras (Tabela 09) variaram com taxas mais elevadas entre areia e silte, respectivamente. Em todas as amostras, o teor de areia é mais significativo. Este perfil de solo corresponde ao horizonte C, mais friável, apresentando grandes porcentagens de areia (BR 3.1=43,4%) e (BR 3.3=69,55%).

No Gráfico 11, as taxas de areia são mais elevadas em todas as amostras. Em BR 3.1 (43,4%) e BR 3.3 (69,55%) são mais expressivos, atestando ser de horizonte mais profundo (C), típico da região de estudo.

Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento da água no solo. Com isto, o gráfico da infiltração (Gráfico 12) de água no solo mostra uma média de volume infiltrado com picos no intervalo de 1-3 minutos, estabilizando em 5 minutos. A duração do teste foi de 7 minutos, com média de infiltração 1,57 mm/min. Em consoante, considera-se que a condição da superfície é fator determinante no processo de infiltração. Tucci (2001) afirma que em áreas sem cobertura vegetal, as velocidades de infiltração são maiores, indicando que sem a vegetação, há uma perda da proteção do solo, aumentando o surgimento de erosão mais avançada.

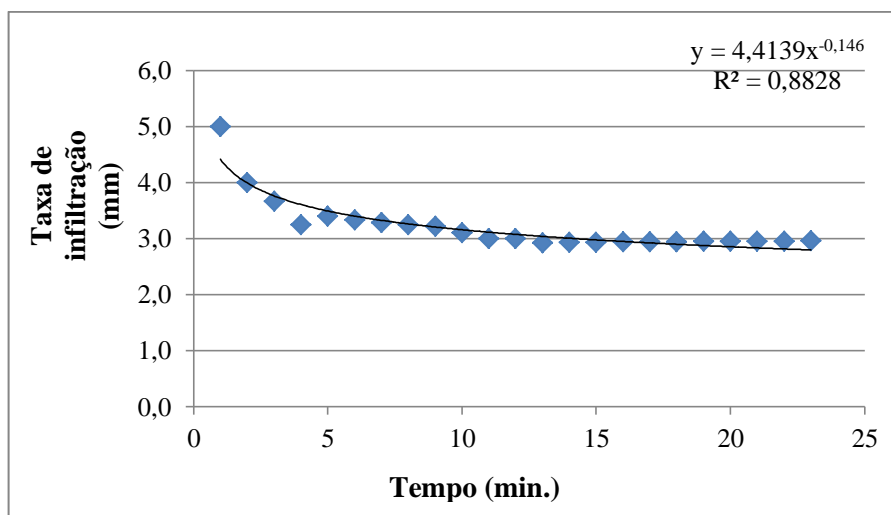


Gráfico 12: Taxa de infiltração na Voçoroca Km 34 – Ponto BR 3.

A penetração neste ambiente articulada com a superfície do solo compactada, mostra no teste de penetração, o maior número de batidas em todos os intervalos, evidenciando um solo mais resistente. Os valores dos lances ultrapassam a unidade de medida (8 Mpa) nos intervalos (10-25 cm). Aplica-se o nível de extremamente alta, visto que os valores verificados neste estudo podem estar relacionados à textura do solo. Gallo et al. (2015) descreve que a classe textural do solo influencia nos resultados, ao passo que os solos argilosos apresentam valores mais elevados de resistência à penetração, corroborando para o que foi verificado através das baixas taxas de argila (18%, 0,725% e 23,25%) (Gráfico 13).

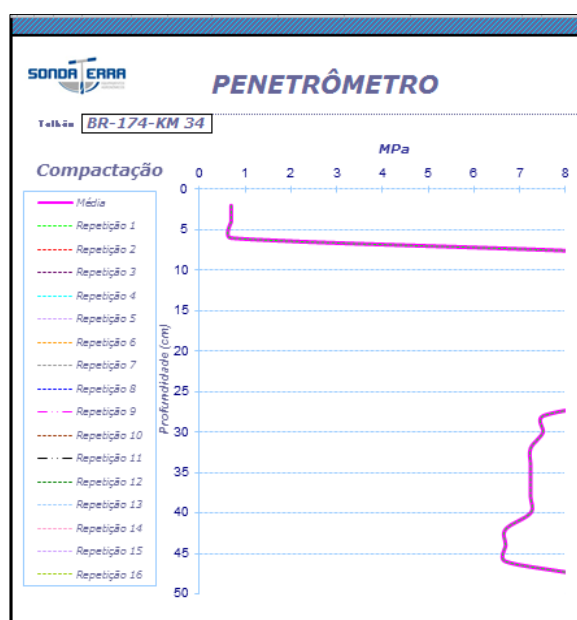


Gráfico 13: Resistência do solo – Ponto de tradagem (BR 3-T3).

- **Análise física das amostras de solo**

Considerando os valores de porosidade total no solo, das amostras BR 1, BR 2 e BR 3-Km 34 (Tabelas 09, 10 e 11), tanto em superfície de 0-10 cm, quanto em subsuperfície (10-20; 20-30; 40-50 cm; 50-60), os resultados foram baixos e homogêneos: BR 1 (31,74%), BR 2 (20,18%) e BR 3-Km 34 (28,1%). A importância da porosidade está relacionada na permeabilidade e da capacidade de retenção da água. Ressalta-se que em comparação ao estudo realizado por Silva (2010) em solos argilosos, a porosidade possui grande importância para o adequado funcionamento do solo, permitindo a infiltração da água em subsuperfície, o que viabiliza o abastecimento do lençol freático e fornece água para os vegetais.

Os resultados de densidade aparente (Tabelas 10, 11 e 12) apresentaram valores inversos em todas as profundidades, em torno de 1,88 g/cm³ (BR 1); 1,9 g/cm (BR 2) e 2,13 g/cm (BR 3-Km34), caracterizando um ambiente compactado, uma vez que a relação da massa com o volume que o solo ocupa em um determinado espaço se encontra próximo ao limite de um solo denso (2 g/cm³). Associa-se aos valores à presença de vegetação, uma vez que as raízes ajudam na reestruturação dos solos e na formação de poros (PEREIRA et al. 2016).

A densidade real procura representar a verdadeira relação entre a massa (peso do solo) e o seu volume, ou seja, representa o peso das partículas do solo e o volume ocupado exclusivamente pelas mesmas, independente de seu arranjo. É um reflexo da natureza química e mineralógica de seus constituintes. Pode ser dispensada para solos minerais ricos em sílica ou em quartzo (areias), utilizando-se o valor universal de 2,65g/cm³, com isto, inclui-se a seguinte média para as amostras: BR 1=2,77 g/cm³; BR 2=2,36 g/cm³ e BR3-Km 34=3,05 g/cm³. (Tabelas 10, 11 e 12).

Amostra	Profundidade (cm)	Porosidade total (%)	Densidade Real (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)
BR 1.1	0--10	36,50	2,98	1,89
BR 1.2	10--20	33,10	2,81	1,88
BR 1.3	20--30	23,80	2,43	1,85
BR 1.4	30--40	33,80	2,81	1,86
BR 1.5	40--50	31,50	2,85	1,95
Média		31,74	2,77	1,88

Tabela 10: Análise da amostra BR 1.

Amostra	Profundidade (cm)	Porosidade total (%)	Densidade Real (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)
BR 2.1	0--10	5,80	2,06	1,94
BR 2.2	10--20	31,50	2,46	1,87
BR 2.3	20--30	22,70	2,46	1,90
BR 2.4	30--40	26,90	2,63	1,92
BR 2.5	40--50	20,90	2,43	1,92
BR 2.6	50--60	13,30	2,17	1,88
Média		20,18	2,36	1,90

Tabela 11: Análise da amostra BR 2.

Amostra	Profundidade (cm)	Porosidade total (%)	Densidade Real (g/cm ³)	Densidade aparente (g/cm ³)
BR 3.1 – Km 34	0--10	31,1	3,12	2,15
BR 3.2 – Km 34	10--20	28,7	3,03	2,16
BR 3.3 – Km 34	20-30	24,5	3,01	2,09
Média		28,1	3,05	2,13

Tabela. 12: Análises das amostras BR 3 – Km 34.

No entanto, verificou-se que através das amostras, em ambiente degradado e não degradado que os valores de porosidade e densidade aparente adequados ajudam a analisar a capacidade da funcionalidade ambiental do solo (45,3% e 1,3 g/cm³, respectivamente), como a influência do desempenho do ciclo hidrológico, podendo acelerar o processo de formação do escoamento superficial, bem como aumentar a sua concentração, velocidade e força, intensificando a desagregação e o transporte de suas partículas. (EMBRAPA, 1997; PEREIRA et al. 2014 e PEREIRA et al., 2016).

- Perfil esquemático do solo

Verificou-se que nos horizontes O, A e B, o solo apresentou texturas de muito argilosa a argilosa, vindo a destoar no horizonte A com a textura franco argilo siltosa e no horizonte B com a textura franco siltoso (Figura 51). No horizonte C, a textura argilo arenosa, com coloração mais clara e material mais erodível. Logo, atestou-se que quanto ao surgimento das incisões na rodovia, no horizonte C, é devido ao solo ser mais fácil de erodido com presença de material arenoso.

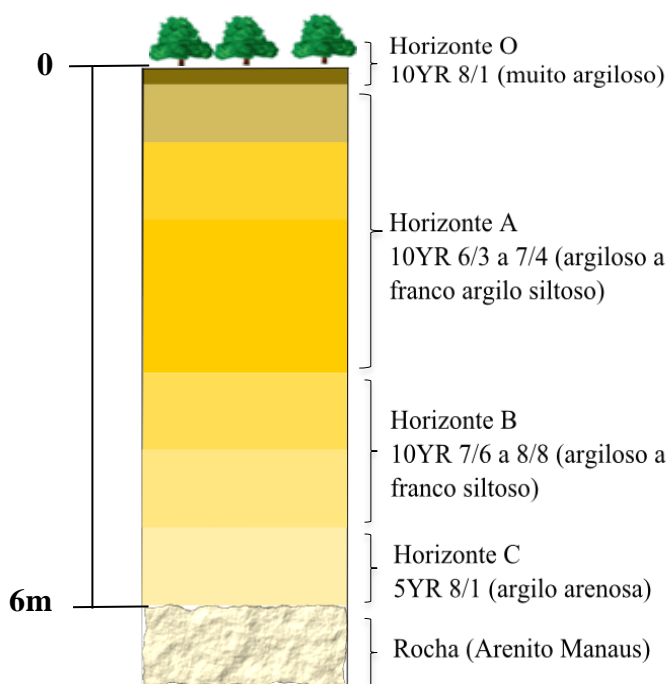


Figura 51: Perfil esquemático do solo.
Org. Daniela Carvalho, 2016.

- Análise da classe textural das amostras

Verificou-se que a textura ou tamanho das partículas do solo são fatores determinantes na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Bertoni e Lombardi (2005) atestam que em um solo argiloso, a proporção é maior de poros pequenos (<0,05mm), característica essa que dificulta a infiltração da água e favorece o escoamento superficial. Neste caso, todas as amostras analisadas possuíam percentuais maiores entre silte e argila. Em comparação com as texturas do solo da região de estudo, o que lhe confere é força de coesão das partículas menores, diminuindo assim sua resistência à erosão.

As porcentagens de argila, silte e areia presentes no solo puderam ser, também, analisados mediante ao triângulo textural, também difundido em estudos pedológicos. Na (Figura 52) são apresentadas as porcentagens das classes texturais.

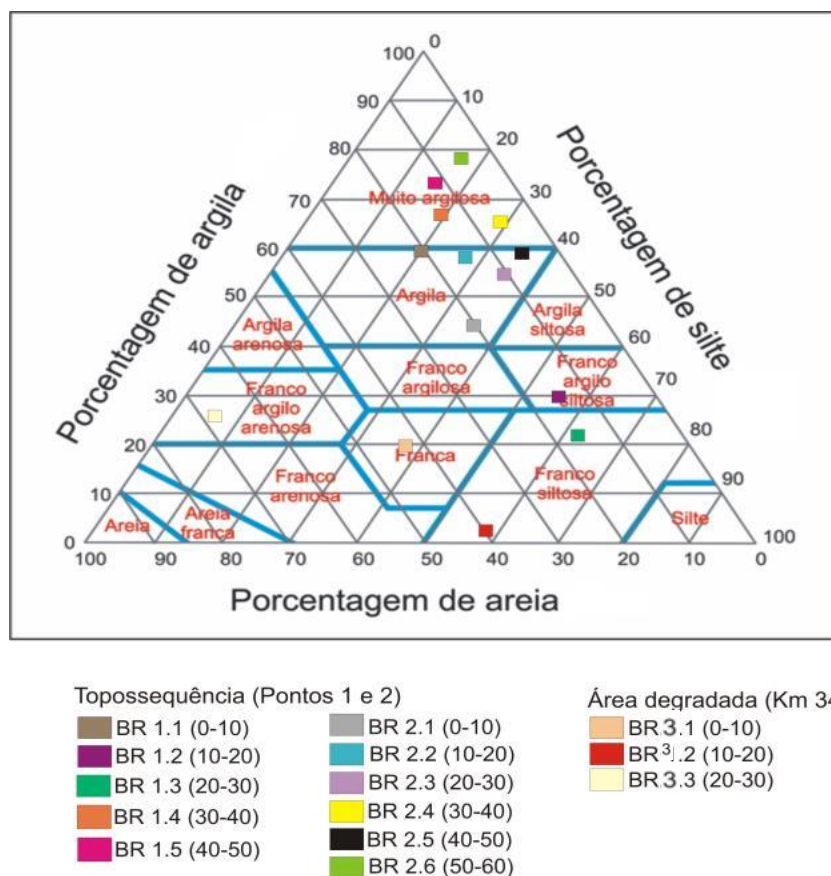


Figura 52: Pirâmide textural com percentagens das amostras.
Organização: Daniela Carvalho, 2016.

Os percentuais de argila foram maiores no ambiente de floresta primária, apresentando as classes texturais de argilosa a muito argilosa; no ambiente degradado, os percentuais de areia e silte exibiram taxas acima de 50%. Verificou-se que a classe textural do solo predominante foi a argilosa, em diferentes profundidades nos pontos (BR 1.1, 2.1, 2.2, 2.3, e 2.5). É predominante nas amostras de solo que a relação silte / argila variou nos ambientes, tendo as taxas no ambiente degradado (sem vegetação) maiores e no ambiente com floresta, proporcionalmente iguais.

- Modelo de evolução de voçoroca

Tendo em vista essa perspectiva, para este trabalho, elaborou-se o modelo sintético para ocorrência de incisões na rodovia BR-174. Conforme estudos anteriores realizados por Vieira e Albuquerque (2004), Vieira e Molinari (2005), Tavares (2010), Lima (2013) e Carvalho e Molinari (2014), as incisões tem surgido justamente no horizonte C, mais frágil. A

fim de demonstrar esse tipo de modelo, na (Figura 53) ilustra o horizonte com a incisão, com as medidas de contenção (aterro) e perfil de terreno.

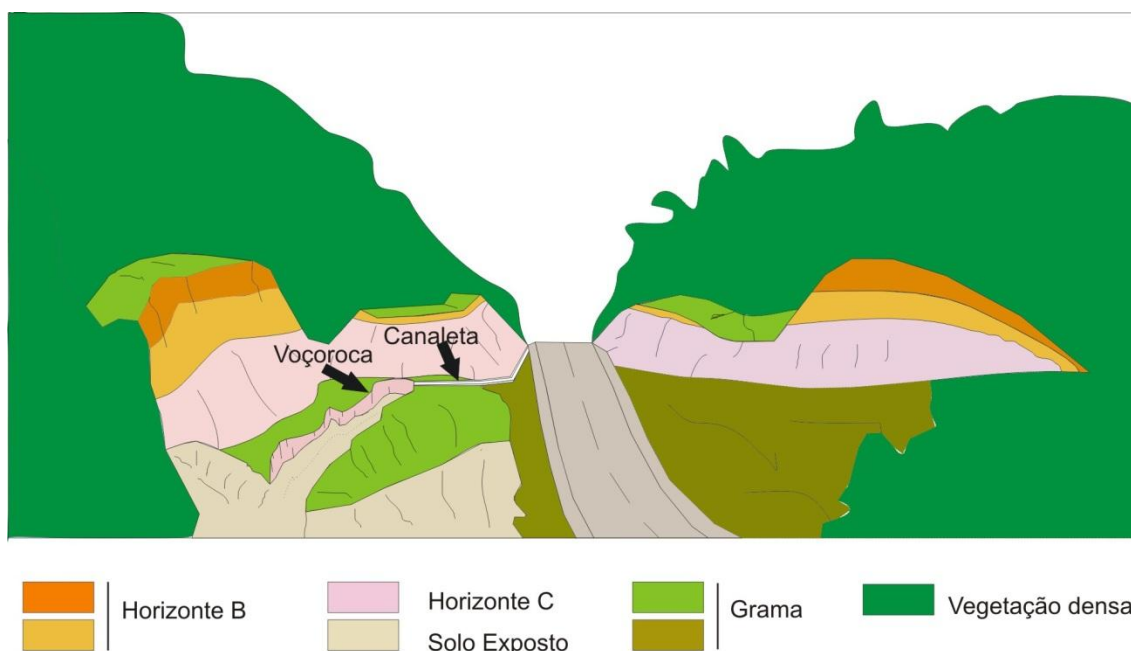


Figura 53: Modelo esquemático da ocorrência de voçoroca na BR-174, km 51,6.
Organização: Antonio Fábio S.G. Vieira e Daniela Carvalho, 2016.

Contudo, para a rodovia foi adotada equação no surgimento das voçorocas da BR-174, especificada como **ciclo sinérgico** para o desencadeamento das incisões, quando dois ou mais agentes impactantes reforçam amplamente sua ação resultando em um crescimento quantitativo do efeito ou mesmo em um efeito impactante e/ou potencializador diverso do que seria sua ação individual (Figura 54).

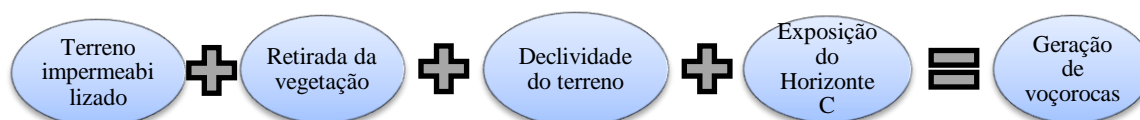
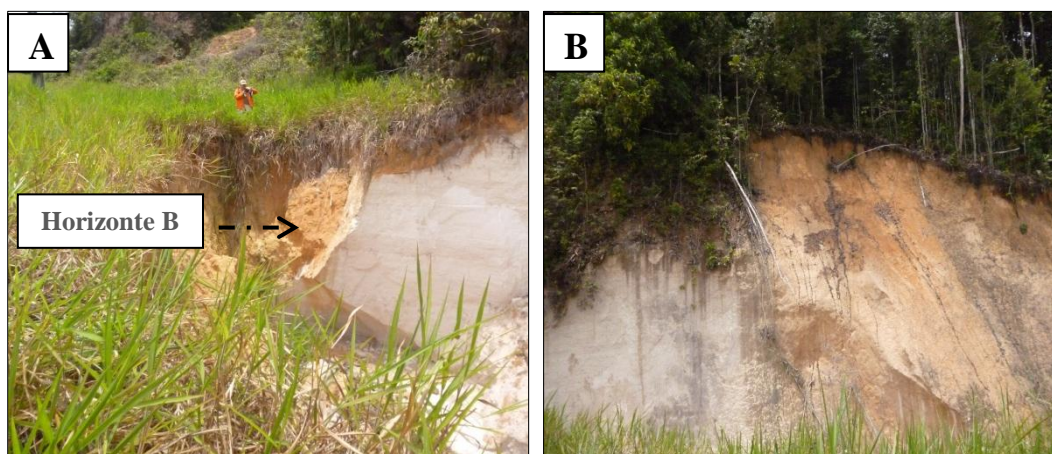


Figura 54: Ciclo de impacto sinérgico referente na rodovia.
Org.: Daniela Carvalho, 2016.

Normalmente no horizonte C, o fluxo subsuperficial é mais evidente. Em todas as voçorocas monitoradas (Figuras 55 A e B) é peculiar a visualização das camadas A, B até o C e esta característica é consequência de medidas preventivas quanto ao sistema de drenagem superficial e a execução de proteção do solo (superficial) eficiente.



Figuras 55: Voçorocas BR-174. **A)** km 27,5; **B)** km 51,6.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

- Geomorfologia

A geomorfologia da área de acordo com CPRM (2010) em Planalto Dissecado dos Rios Negro e Uatumã, com cotas aproximadas até 150m. Verificou-se que as elevações variam entre 50 a 80m.

Quanto à localização das voçorocas, observou-se através de geração de Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 56), que o traçado inicial da rodovia, entre os municípios de Manaus e Presidente Figueiredo, percorre por vários cursos d'água, dentre o principal, Igarapé do Tarumã-Açu, cuja bacia compreende até o Km 52 da estrada e o limite de Manaus.

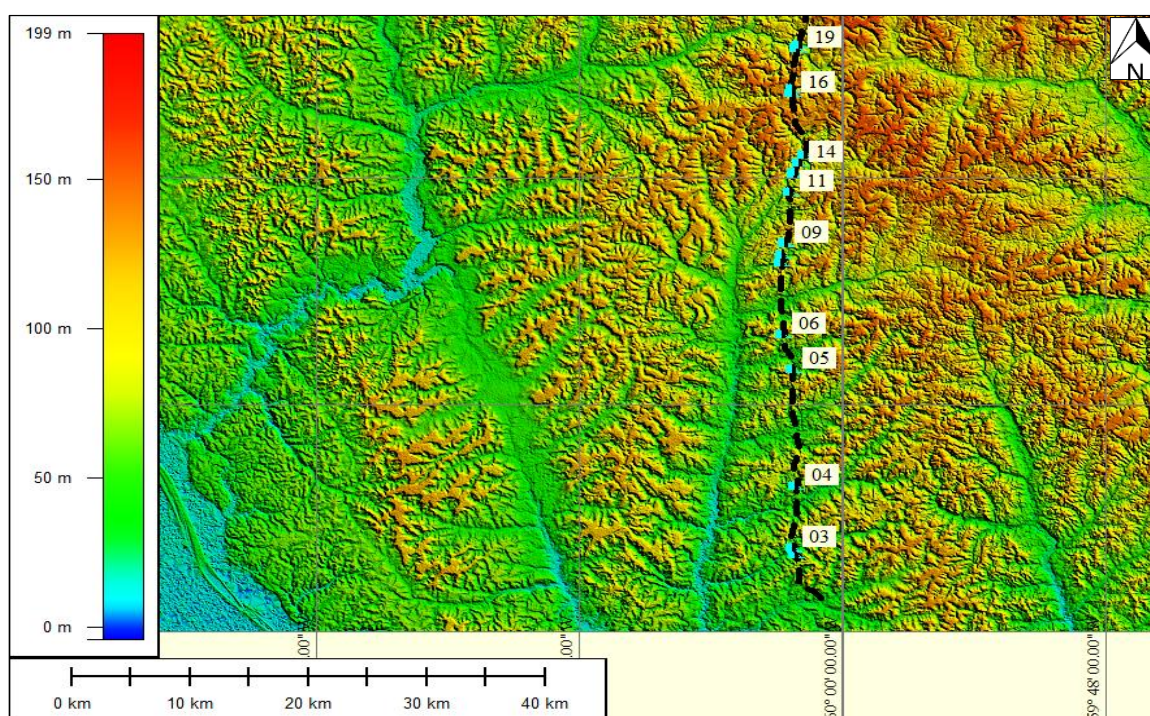


Figura 56: Modelo digital de elevação do terreno.
Org.: Daniela Carvalho, 2016.

No perfil esquemático do relevo, as incisões foram localizadas entre 50 a 100m, contribuindo para a formação das voçorocas, que condicionada com a geomorfologia da área, exposição do solo, declividade potencializam o surgimento das voçorocas (Figura 57).

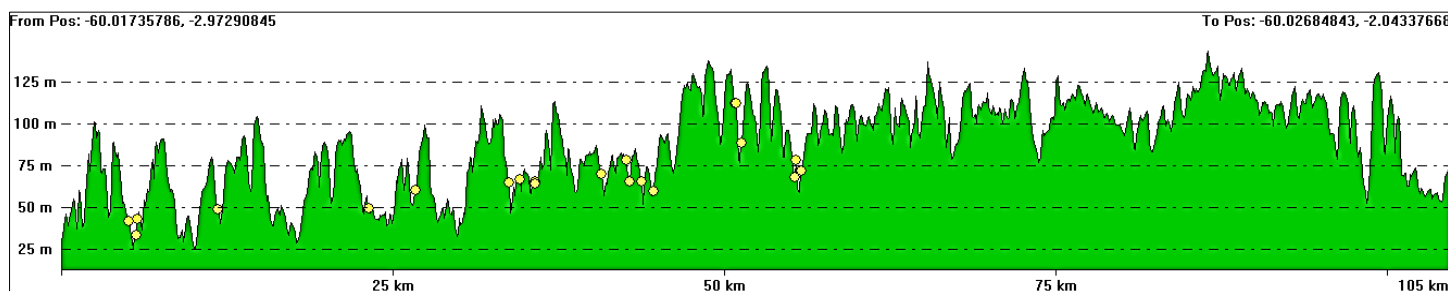


Figura 57: Perfil esquemático com pontos da localização das voçorocas.
Org.: Daniela Carvalho, 2016.

- Vegetação

Na área estudada, os contatos de vegetação nos pontos (BR 1 e BR 2) apresentam ser do tipo primário, sem interferência antrópica, com cobertura de serrapilheira; e, no ponto (BR 3-Km34), identificou-se a presença de vegetação do tipo secundária, rasteira (gramínea), originária da construção da rodovia (Tabela 13).

Imagem	Descrição do ambiente
BR 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Localizada na vertente baixa; • Presença de vegetação com porte entre 3 a 5 metros; • Indícios de mata primária, sem contato com antropização.
BR 2 	<ul style="list-style-type: none"> • Localizada na vertente média; • Presença de árvores com porte entre 4 a 5m de altura; • Composta por mata primária, sem indícios de interferência antrópica; • Solo mais coeso com presença de serapilheira e raízes mais profundas.

**BR 3 –
Km 34**



- Cobertura vegetal do tipo gramínea (rasteira) nas bordas da incisão;
- Ambiente com origem do processo de antropização;
- Composta por mata secundária neste trecho.

Tabela 13: Descrição da vegetação.
Org. Daniela Carvalho, 2016.

Variações (%)	Declividade/Relevo
0 a 3	plano
3 a 8	suave ondulado
8 a 13	moderadamente ondulado
13 a 20	ondulado
20 a 45	forte ondulado
>45	montanhoso

Tabela 14: Variações de declividade.
Adaptado de EMBRAPA (2006). Org. Daniela Carvalho, 2016.

4.3 Degradações encontradas na rodovia

Com base em trabalhos anteriores realizados nesta rodovia, no cadastramento e monitoramento feitos nesta pesquisa, a declividade do terreno em que as incisões foram localizadas teve como parâmetros elaborados por EMBRAPA (2006) que variam entre (Tabela 14):

De acordo com o Gráfico 14, 17 voçorocas estão localizadas em relevo classificado em suave ondulado; 3 voçorocas em relevo moderadamente ondulado e apenas 2 incisões em relevo plano, com declividade de 0 a 3°.

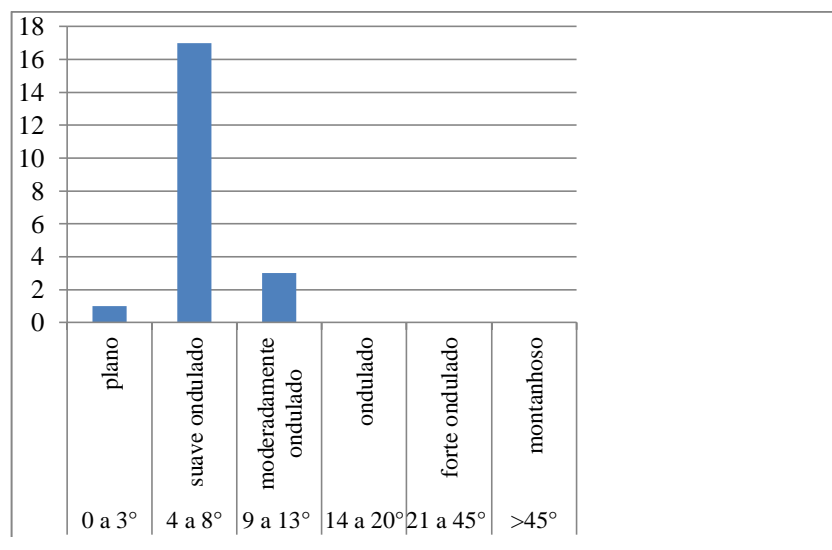


Gráfico 14: Declividade do terreno das voçorocas.

A declividade da área foi classificada como 10 a 30%, de acordo com a (Figura 58), atestando a classificação da EMBRAPA (2006), sendo estes relevos moderadamente ondulado a ondulado.

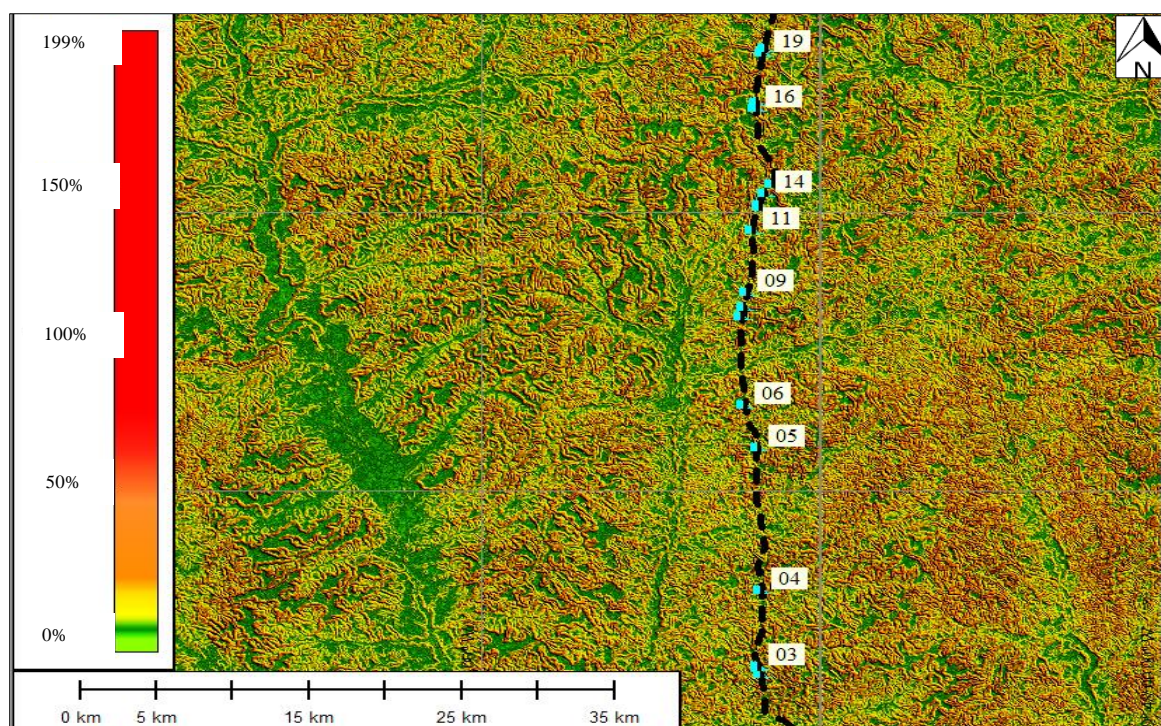


Figura 58: Mapa de declividade. Org. Daniela Carvalho, 2016.

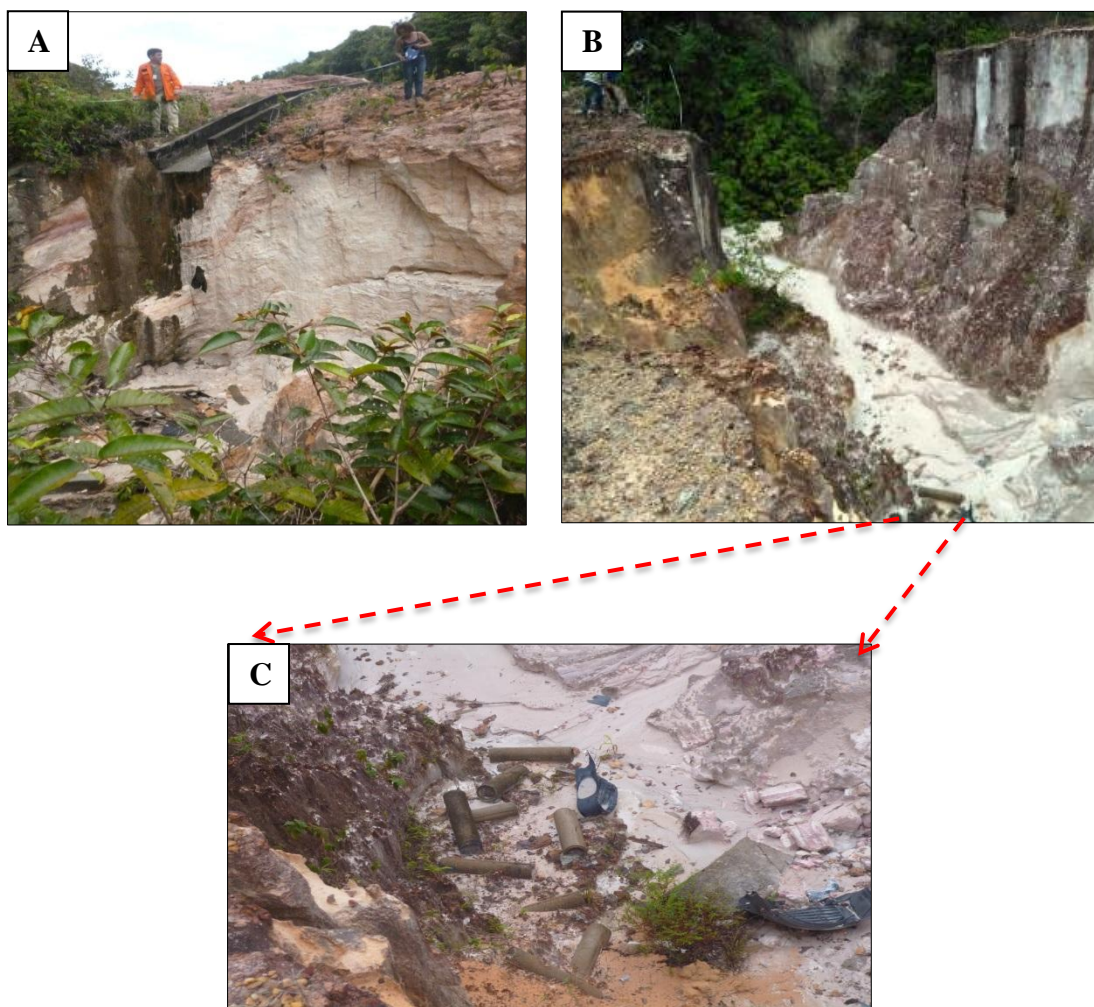
Foram classificados os tipos de depósitos tecnogênico encontrados na rodovia e seu material constituinte, em (Tabela 15):

Tipos de materiais	Descrição
A) Úrbicos	Detritos urbanos: artefatos manufacturados pelo homem moderno: tijolos, vidro, concreto, asfalto, pregos, plástico, metais diversos, pedra britada, cinzas e outros, provenientes, por exemplo, de detritos de demolição de edifícios.
B) Gárbicos	Detríticos: lixo orgânico (origem humana).
C) <u>Espólicos</u>	Terrosos escavados e depositados (terraplanagem), por rodovias, mina a céu aberto, obras civis, p. ex., assoreamentos induzidos pela erosão acelerada.
D) Dragados	Dragagem de cursos d'água.

Tabela 15: Tipos de materiais. Fonte: Casseti (2001).

Org.: Daniela Carvalho, 2016.

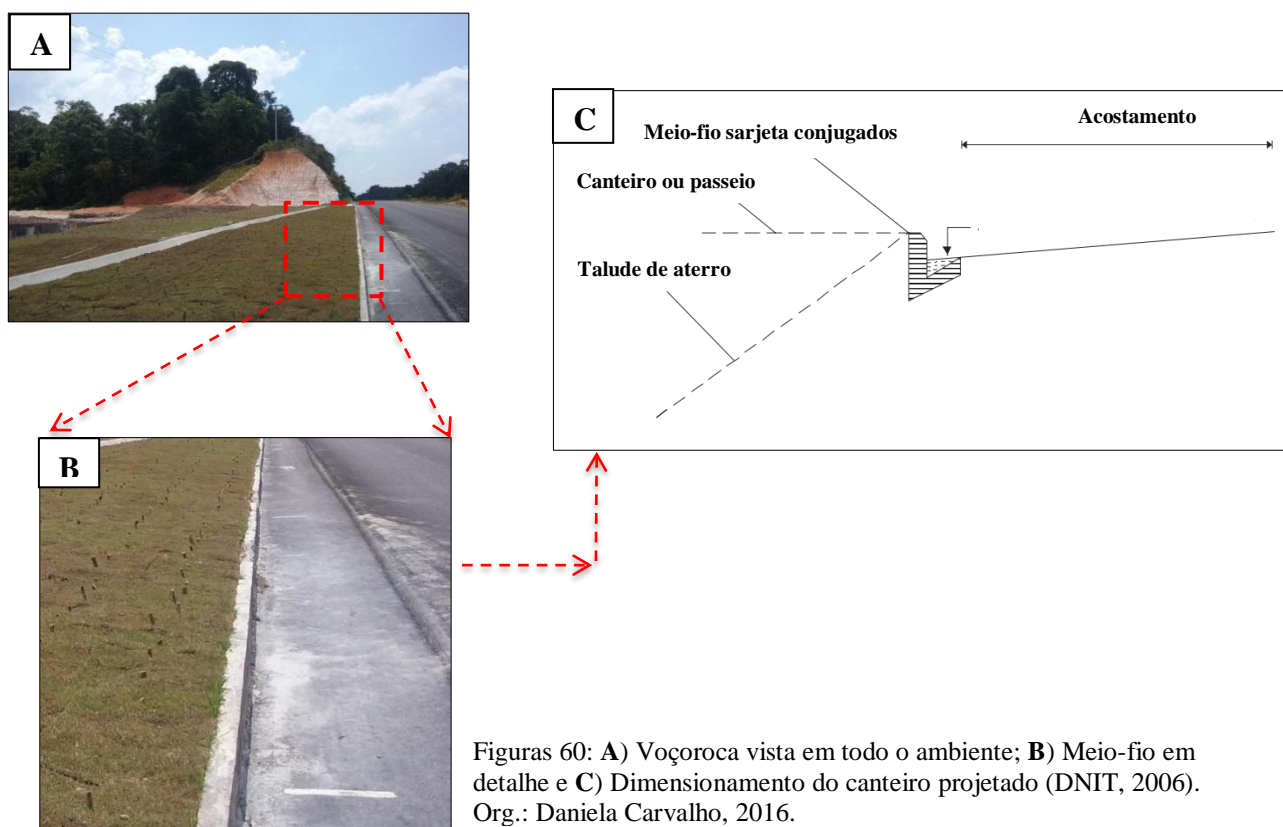
Na ocasião foram vistos materiais oriundos de restos da construção das canaletas (dissipadores de energia), do tipo espólico no interior de incisões (Figuras 59 **A**, **B** e **C**).



Figuras 59: Materiais espólicos (restos de construção como canaletas de concreto) no interior de voçoroca. **A)** km 27,5; **B)** km 42, BR-174 e **C)** restos de partes das canaletas. Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

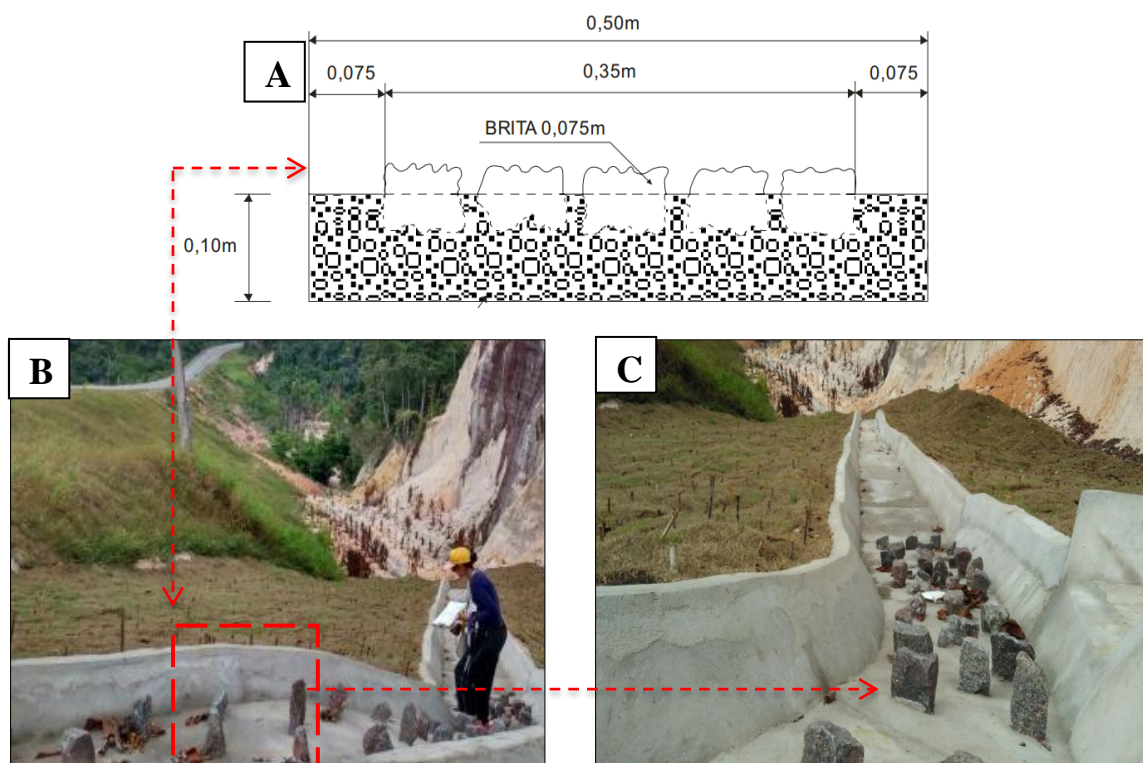
A presença de voçorocas na rodovia pode causar diversos impactos ambientais em relação aos aspectos físicos como a destruição de espécies vegetais, principalmente, devido ao assoreamento dos cursos d'água, geralmente presentes no vale e em relação aos aspectos antrópicos visto que as incisões erosivas podem atingir a estrada e prejudicar o tráfego de veículos. Com esta perspectiva, conforme as literaturas do principal órgão que gerencia a manutenção rodoviária brasileira (DNIT, 2006; DNIT, 2010), analisou-se a infraestrutura da rodovia do corpo estradal (margem) e os componentes que contribuíram na intensificação do processo erosivo.

A seguir, (Figuras 60 **A**, **B** e **C**), o exemplo da voçoroca localizada no km 34, recuperada depois do 2º monitoramento, mostra que o projeto não obedece a inclinação no qual o talude de aterro deveria se adequar, neste caso, houve a contenção antes do canteiro.



Como visualizado na voçoroca localizada no km 37, (Figuras 61 **A**, **B** e **C**) as distâncias em que estão dispostas de uma brita para outra são maiores, a disposição das britas

encontraram-se irregulares, não tendo sido obedecidas à norma de distanciamento de 7,5 cm umas das outras e a continuação destas não se prolonga até à jusante da incisão.



Figuras 61: **A)** Projeto de dissipador contínuo (DNIT, 2006); **B)** Voçoroca com vale principal e **C)** Disposição de dissipador contínuo em incisão, km 34, BR-174.

A rodovia BR-174, um empreendimento linear, é exemplo de impacto, no qual os processos erosivos foram deflagrados a partir de diversas ações diretas na fase construtiva, com a abertura de cortes e aterros, consequentemente, produzindo novas morfologias.

A tomada de medidas que serve para conservação das rodovias e para prevenção ao não surgimento de voçorocas considera um conjunto de avaliações. Sobre o conceito de medidas atenuantes sobre os impactos ambientais Dias et al. (1999), adotado neste trabalho, como exemplos executáveis, considera-se ainda principais alcances na promulgação dos impactos ambientais ocasionados a um ambiente degradado (Tabela 16).

IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS	MEDIDAS ATENUANTES
<p>Erosão nos cortes e aterros e sedimentação das vias de drenagem natural.</p> <p>Erosão do solo abaixo do leito da estrada, por receber as águas da drenagem.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Executar dispositivos de dissipação de energia à saída das estruturas de drenagem de modo a evitar que a erosão se instale a partir desses pontos de concentração de fluxo; • Reconfortar e proteger as superfícies de terrenos expostas pelas operações de terraplenagem com materiais naturais (terra vegetal, plantio de grama, hidrossemeadura), ou artificiais (telas, geotêxteis); • Manter um esquema eficiente e rotineiro de prevenção de danos graves à rodovia, especialmente em períodos de acentuada precipitação pluviométrica.

Tabela 16: Especificações de medidas atenuantes para impactos imediatos. Adaptado de Dias et al. (1999). Org.: Daniela Carvalho, 2016.

A análise do sistema de drenagem na área, observados em campo mostrou que este foi executado de maneira inadequada, uma vez que desencadeou o aumento de processos erosivos, o que poderá danificar a estrutura da rodovia.

Outro fator preocupante é a **ausência de cobertura vegetal** às margens da pista, uma vez que a regeneração natural já deveria ter ocorrido tendo se passado tempo necessário desde a pavimentação da BR, ao invés disso, o processo se agrava com o passar do tempo. Outrora, o tipo de revegetação em área degradada utilizada tem sido implantado de maneira que as voçorocas contidas voltaram a serem reativadas. É o caso, da voçoroca localizada no km 42, onde a recuperação destas caracteriza-se pelo plantio com manta de grama, aterramento e contenção parcial na área da borda da pista. Entretanto, observou-se que a recuperação realizada nesta voçoroca, não foi suficiente para que a incisão crescesse (Figuras 62 **A** e **B**).



Figura 62-A: Voçoroca conectada ao vale principal, Ao fundo, igarapé assoreado, km 42, BR-174; **B**: Setas indicam duas bifurcações à montante da incisão, km 42, BR-174.

Fotos de Antonio F.S.G. Vieira, 2016.

O tipo de revestimento usado na BR-174 e encontrado em campo (Figuras 63 **A** e **B**) varia de acordo com a área, propenso à erosão e a espécie a ser plantada como a grama batatais ou forquilha (*paspalum notatum*) (Tabela 17).

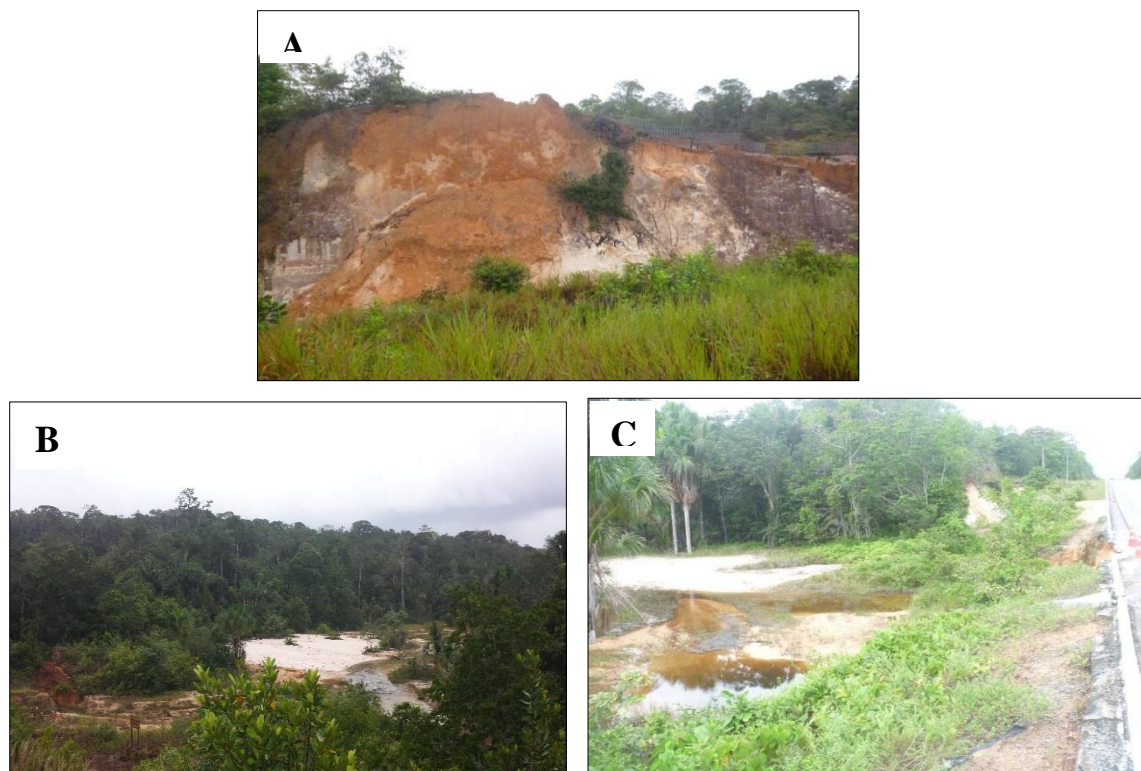


Figuras 63: Voçoroca Km 42, BR-174, na subárea Classe A da faixa de domínio (rodovia).
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

Subárea	Descrição	Tipo de revestimento vegetal	Área	Espécie	Meios de plantio
<u>Classe A da faixa de domínio</u>	Gramado baixo/forrações	Placas de gramínea (estolonífera com leguminosas)	Local crítico sujeito à erosão	(Grama Batatais ou Forquilha (<i>paspalum notatum</i>))	Sementes e mudas

Tabela 17: Tipo de revegetação em Classe A.
Org.: Daniela Carvalho, 2016. Fonte: BRASIL, 2009.

Associado às voçorocas e, como uma de suas consequências, foi verificado, também, assoreamento de canais no trecho de estudo. Observou-se o assoreamento está relacionado com a desagregação do solo, sendo que este é carregado do interior das incisões, através da água da chuva, com drenagem mais próxima. Os sedimentos são depositados no fundo dos vales. Notou-se, contudo, a camada mais permeável (C) e mais frágil e horizonte com a cor mais expressiva, para a ocorrência destes processos (Figuras 64 **A**, **B** e **C**).



Figuras 64: A) Escorregamento translacional, km 19; B) Trecho de canal assoreado, km 37 e C) drenagem assoreada às margens da pista. Parte de contenção, km 62, BR-174. Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

4.4 Previsão de risco erosivo dos pontos com voçorocamento

Durante a instalação de uma estrada, providências específicas e importantes teriam ou pelo devem ser tomadas, entre a fase do projeto e na continuidade na fase da conservação. A projeção ineficiente causará danos prejudiciais maiores como o desencadeamento e evolução dos processos de erosão (sulcos, ravinas e, progressivamente, voçorocas). O resultado destes fatores culminará neste fenômeno, e não havendo a manutenção contínua evoluirá para risco evidente tanto para a via de acesso (interrupções de tráfego, desmoronamento de pistas, assoreamentos de rios) quanto para o ambiente degradado.

A aplicação para previsão do risco ocorreu com base no quadro elaborado por Tavares e Vieira (2010). Realizou-se dois monitoramentos em intervalo de 4 meses e 20 dias. Ao todo 8 voçorocas apresentaram risco a médio prazo e 13 voçorocas com risco a longo prazo, sendo que as voçorocas **4** (1,9m) e **13** (1,8m) mais se aproximam da rodovia. As incisões **10** (Prazo=18 meses) e **11** (Prazo=16 meses), no que se refere ao tempo para atingir a rodovia, apresentaram risco em médio prazo. No entanto, a velocidade da taxa de crescimento de ambas (0,16m e 0,43m) são umas das maiores ao mês, juntamente com as voçorocas **6**, **8** e **17**. De acordo com Tavares e Vieira (2010) calculou-se a previsão de risco erosivo com base

na diferença dos dois monitoramentos, onde se obteve a velocidade das taxas de crescimento das voçorocas ao mês, considerando o intervalo entre os monitoramentos. Logo, dividiram-se os dados do último monitoramento de distância da pista pela taxa de crescimento ao mês resultando na estimativa de meses necessários para atingir a pista. O Quadro 03, a seguir demonstra os valores relativos para distância de cada incisão em relação à pista.

Distância para pista (m)						
Voçoroca	1º Cad. 13/03/2016 (m)	2º Cad. 23/08/2016 (m)	Crescimento no período (m)	Taxa de crescimento ao mês (m)	Tempo (meses) para incisão alcançar pista	Risco
1	6,9	6,9	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
2	4,6	4,6	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
3	4,6	4,6	0	0	Estagnada	Risco a longo prazo
4	2,3	1,9	0,4	0,08	24,23	Risco a médio prazo
5	4,9	4,2	0,7	0,14	30,60	Risco a médio prazo
6	15,6	12,6	2,9	0,58	21,69	Risco a médio prazo
7	5,8	5,6	0,2	0,04	142,80	Risco a longo prazo
8	19,5	17,0	2,5	0,49	34,68	Risco a médio prazo
9	2,7	2,7	0	0,00	Estagnada	Risco a longo prazo
10	3,7	2,9	0,8	0,16	18,49	Risco a médio prazo
11	9,1	6,9	2,2	0,43	16,00	Risco a médio prazo
12	13,2	13,0	0,2	0,04	331,50	Risco a longo prazo
13	1,9	1,8	0,15	0,03	61,20	Risco a longo prazo
14	2,5	2,1	0,4	0,08	26,78	Risco a médio prazo
15	4,8	4,8	0	0,00	Estagnada	Risco a longo prazo
16	18,3	17,7	0,7	0,13	138,48	Risco a longo prazo
17	76,0	72,0	4	0,78	91,80	Risco a longo prazo
18	15,8	14,7	1,1	0,22	68,15	Risco a longo prazo
19	19,5	18,5	1	0,20	94,35	Risco a longo prazo
20	330,0	325,0	5	0,98	331,50	Risco a longo prazo
21	6,63	5,8	0,83	0,16	35,64	Risco a médio prazo

Quadro 03: Distâncias para pista de cada incisão. Org. Daniela Carvalho, 2016.

Verificou-se ainda como critério para determinação da evolução do risco erosivo as **feições de retrabalhamento**, podendo ser encontradas não apenas no seu interior com também ser indicativo para que tal voçoroca possa estar ou não em processo de evolução.

- Risco a médio e longo prazo

A voçoroca **4** localizada no **km 12,1** foi classificada como risco a médio prazo, no último monitoramento com distância 1,9 m para atingir a pista. Verificou-se a presença de fluxo na cabeceira (Figura 65).



Figura 65: Voçoroca 4, km 12,1, BR-174. Seta indica alcova de regressão formada por escoamento superficial, resultando no desmoronamento no interior da incisão.
Foto de Antonio Fabio S.G. Vieira, 2016.

Em monitoramento realizado por Lima (2013) constatou que a voçoroca **9** do **km 37(A)** foi classificada como risco a longo prazo, com distância de 2,70m para atingir a pista. Nesta pesquisa, a mesma incisão manteve-se sendo de risco a longo prazo, e não foi constatado nenhuma contenção (Figura 66).



Figura 66: Voçoroca 9, km 37 (A), BR-174. Seta vermelha indica distância de 2,70m.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

No **km 37(B)**, a voçoroca **10** é classificada como risco a médio prazo, a incisão apresentava canaleta, mas, pode-se encontrar desmatamento, fator degradante do solo (Figura 67).



Figura 67: Voçoroca 10, km 37 (B), BR-174. Seta vermelha indica canaleta de concreto próxima à cabeceira (margem esquerda da pista) e distância para rodovia.

Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

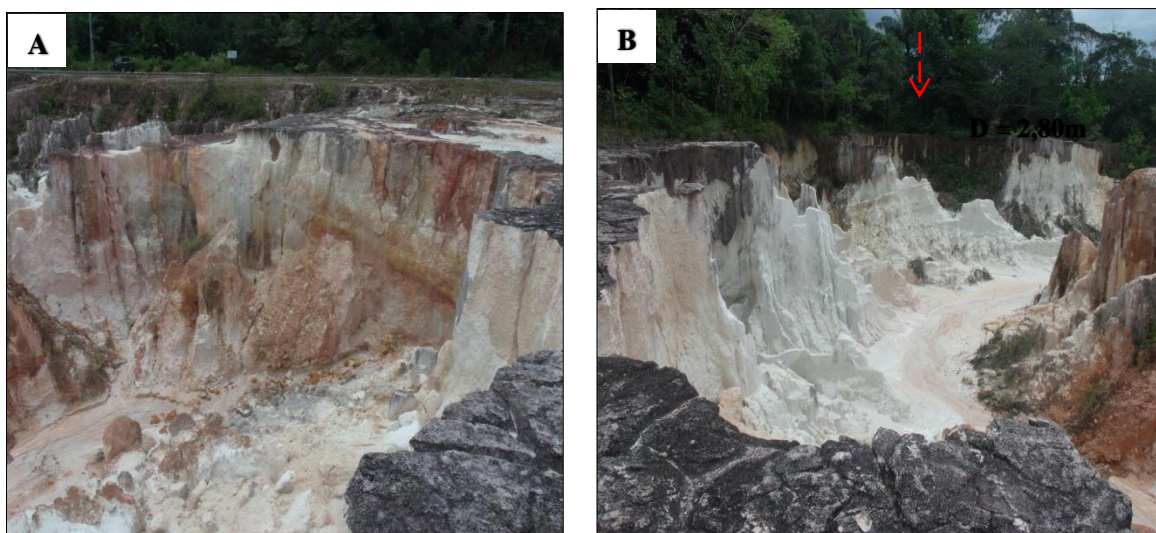
A voçoroca **13** localizada no **km 43,5**, próximo ao posto da PRF (Polícia Rodoviária Federal) foi classificada como risco a longo prazo com velocidade de crescimento ao mês de 0,03m. (Figura 68).



Figura 68: Voçoroca 13, km 43,5.

Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

Na BR 174, especificamente, no **km 44**, a voçoroca **14** apresentou uma distância de 2,80m em direção à pista; no último cadastramento, a distância foi de apenas 2,1m e foi classificada como risco a médio prazo. Verificou-se que nesta incisão há exposição de material caulínico da Formação Alter do Chão, próximo às margens do Igarapé Cabeça Branca, cujo material mais fácil de ser erodido influencia no entalhe da incisão. O depósito de caulim está estabelecido no horizonte basal de perfis lateríticos evoluídos (laterito maturo) truncados, ou seja, nas zonas pálidas e em partes mosqueadas dos horizontes saprolíticos. A exposição deste material somente ocorre a partir da erosão da parte superior dos perfis lateríticos bauxítico, que foram recobertos por sedimentos ou modificados parcialmente para latossolos (MORAES e COSTA, 1997) (Figuras 69 **A** e **B**).



Figuras 69: **A e B**) Voçoroca km 43,5.
Fonte: Daniela Carvalho, 2016.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos estudos realizados destaca-se a importância da Rodovia BR-174 como um corredor viário importante para região, por interligar os estados do Amazonas e Roraima, e estes à Venezuela. Entretanto, as obras de reestruturação da rodovia, atrelada a expansão a novos fluxos de veículos potencializaram ainda mais os impactos, ocasionando problemas na drenagem pluvial em consequência da ineficácia na projeção dessas estruturas. A intensificação dos processos erosivos e a desconfiguração da paisagem local constituem alguns dos impactos visualizados ao longo do trecho. Assim, é possível destacar algumas observações, quanto à:

- **Degradação ambiental**: a erosão tem ocasionado assoreamento dos leitos que margeiam ou que passam sob a rodovia, obstrução de cursos d'água, podendo provocar instabilização dos taludes, condicionando até mesmo movimentos de massa e contribuindo para a deterioração maior da paisagem;
- **Projeto de construção**: elaboração de uma correta especificação técnica no que diz respeito à terraplanagem, principalmente na fase de construção e pavimentação da rodovia, resultando assim na exposição do horizonte mais friável do solo (horizonte C);
- **Sistemas de drenagem**: mal dimensionadas e projetadas, acarretando no escoamento das águas pluviais nas incisões, cujos dissipadores de energia foram construídos sem prévio estudo e com isto, propiciarem o início do processo de voçorocamento.

Comparando os objetivos realizados de monitoramento das incisões no primeiro cadastro e no segundo pode-se analisar a grande importância do dinamismo que existe no desenvolvimento das voçorocas. A maior parte das incisões foram classificadas como tamanho pequeno, no que diz respeito ao volume erodido entre 1.000m³ e 9.999m³. Quanto ao tempo em relação à pista, a maioria apresentou risco a longo prazo, sendo que estas levarão um prazo superior a 18 meses para atingi-la.

Assim, as degradações ambientais identificadas em campo foram os de: assoreamento na maioria dos canais (mais da metade das voçorocas são ligadas a algum vale,

logo grande parte é obstruído), risco para a pista com o crescimento considerável de algumas incisões, desmatamento de significativa parcela da vegetação, solo muito exposto podendo provocar desmoronamentos (danos causados com a abertura da pista).

A ocorrência dessas incisões está no processo natural de escoamento das águas das chuvas passando por estruturas construídas como canaletas e tubos. Essas estruturas em sua maioria não apresentam dissipadores de energia que teriam como função diminuir a velocidade do escoamento da água da chuva. Somam-se a isso, as tentativas de contenção ineficientes, confirmadas pelo fato de que as voçorocas, mesmo após contenção acabam sendo reativadas e voltam a crescer em direção a pista.

O surgimento de voçorocas, desencadeada pela construção da rodovia, permitiu a exposição do horizonte pedológico C, mais susceptível à erosão, relacionando-se com os fatores geomorfológicos, pedológicos e a declividade do terreno.

Os aspectos ambientais ao longo da rodovia revelaram a predominância do Latossolo Amarelo, cuja classe textural encontrada variaram entre argilosa a muito argilosa, em ambiente com predomínio de floresta primária e argilo siltosa a argilo areno-siltosa em amostras coletadas em área degradada.

Os processos de erosão possuem a especialidade de velocidade lenta, entretanto, é contínua e progressiva ao longo do tempo. O combate é oneroso e complexo, por isso é mais fácil e barato preveni-la. Como prevenção, as medidas devem ser implantação de captação e o manejo de águas pluviais eficazes, de forma que elimine o efeito destruidor da erosão.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A.R. da C.; VIEIRA, A.F.S.G. Erosão dos solos na Amazônia. In.: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M. do C.O. (orgs.). **Degradação dos solos no Brasil**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2014.

ANEOR. Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias. **Guia de diretrizes para Obras Rodoviárias**. Brasília: 1992. 95 p.

BASTOS, A.C.S.; FREITAS, A.C.de. Agentes e processos de interferência, degradação e dano ambiental. In.: CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.J.T. (orgs.). **Avaliação e perícia ambiental**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2015.

BERTONI, J; LOMBARDI, F.N. **Conservação do solo**. 5ª ed. Editora Ícone. São Paulo, 2005.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Curitiba, 1985.

BIGARELLA, J.J., BECKER, R. D., SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais, v. III**. 2ª edição. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha S.A. 20-Manaus, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978.

_____. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.HTM>. Acesso em 21 de janeiro de 2015.

_____. **Resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) nº 001 de 23 de Janeiro de 1986**. Dispõe sobre os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação Ambiental. Brasília Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em 07 de setembro de 2015.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT). Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Diretoria Geral. **Manual de custos rodoviários**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2003.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). **Manual de vegetação rodoviária**. Rio de Janeiro, 2009.

BRITO, T.S.A.de; VASCONCELLOS, F.C.W.; OLIVEIRA, F.L.P. Avaliação de impactos ambientais na rodovia MG-010: Estudo de caso no vetor norte de Belo Horizonte. In.: **Ciência e Natura**, vol. 35, n.2, p.206-214, 2013.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos: São Paulo (2ª ed.), 2005.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Flow hydraulics and sediment transport in rills of a sandy clay loam soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:597-607. 2005.

CAREY, B. **Erosion Gully**. Disponível em: <<http://www.derm.qld.gov.au/au/factshhets/pdf/land/181.pdf>>. Acesso em: 31 de novembro de 2016.

CARVALHO, D.P. **Caracterização geológica geomorfológica da BR 174 (trecho Manaus-Presidente Figueiredo) - AM**. Relatório Final de Iniciação de Pesquisa (PIBIC). FAPEAM/Universidade Federal do Amazonas, 2013a.

CARVALHO, D.P.; MOLINARI, D.C. Notas geológica-geomorfológica da BR 174 (Trecho Manaus-Presidente Figueiredo/AM). **XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Uso e Ocupação da Terra e mudanças da paisagem**. Eixo VI (Anais do Evento). Vitória: CCNH/UFES, 2013b.

CARVALHO, D.P.; MOLINARI, D.C. Caracterização das voçorocas na BR 174: Trecho Manaus – Presidente Figueiredo (Amazonas). **Revista Geográfica Acadêmica**, v.8, n.2, p. 5-19, 2014.

CASSETI, Valter. Estrutura superficial. In: **Elementos de Geomorfologia**. Ed. UFG, 2001. Disponível em <http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php>. Acesso em 15 de novembro de 2016.

CHEMEKOV, Y. F. **Technogenic Deposit**. Moscow, XI INQUA Congress, p. 62, 1982.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidades. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. MAIA, M.A.M. (org.). Manaus, AM. 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In.: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CUNHA, M.A. **Ocupação das encostas**. São Paulo: IPT, 1991.

CUNHA, M.C.; THOMAZ, E.L. Distribuição das estradas rurais não pavimentadas na Bacia do rio das Pedras, Guarapuava (PR), utilizando técnicas de geoprocessamento. In.: LIMA, A.G.; PIETROBELLI, G. **Água e solo na Geografia Física: experiências e possibilidades**. Unicentro (Universidade Estadual do Centro-Oeste), 2013.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KAMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993.

DIAS, M.C.O.; PEREIRA, M.C.B.; DIAS, P.L.F.; VIRGÍLIO, J.F. **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Banco do Nordeste, Fortaleza (CE), 1999.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. SANTOS, H.G. (org.). Embrapa Solos (2ª Ed.), 2006.

EMBRAPA. **Caracterização e classificação dos solos do município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas**. OLIVEIRA JUNIOR, R.C.de; SANTOS, P.L. dos; SILVA, P.R.O. da. (Orgs.). Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Orgs. Selma Simões de Castro, Luís Carlos Hernani, editores técnicos.– Brasília, DF: Embrapa, 2015.

FAGUNDES, E.A.A.; KOETZ, M.; RUDEL, M.; SANTOS, T.S.; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de Cerrado no município de Rondonópolis-MT. In.: **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** (GO), vol. 8, n. 14, 2012.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N.L.; AISSE, M.M.; GARCIAS, C.M.; ZENY, A.S. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Editora Universitária Champagnat, 1984.

FORNASARI FILHO, N. **Alterações do meio físico decorrentes de obras de Engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992.

FOWLER, H.G; AGUIAR, A.M.D. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. 2ª Ed. Rio Claro: UNESP, 1995.

FURTADO, M.S.; RIBEIRO, F.V.; SOUSA, U.D.V.; MENDONÇA, J.K.S.; GUERRA, A.J.T. **Processo de recuperação da voçoroca do Sacavén, São Luís (MA)**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia, 2006.

GALLO, A.S.; GUIMARÃES, N.F.; FONTANETTI, A.; STOLF, R. Resistência à penetração em solo sob diferentes coberturas vegetais. In.: **Cadernos de Agroecologia**, vol . 10, Nº 3 de 2015.

GIRÃO, F.E. **Aspectos geomorfológicos do município de Presidente Figueiredo - AM: um estudo de caso no trecho das rodovias BR-174 e AM 240**. Dissertação em Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2005.

GOUDIE, A. *The Encyclopaedic Dictionary of Physical Geography*. Basil Blackwell: Oxford, Inglaterra, 1985.

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.

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, 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.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 5º Edição, 2008a.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Cap. 4. Cap. 5. 7. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2008b.

GUERRA, A.J.T.; OLIVEIRA, M.C. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos, 2013.

GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.do C.O. (orgs.). **Degradação dos solos no Brasil**. Editora Bertrand. Rio de Janeiro, 2014.

HORTON, R.E. *Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology*. In.: **Geologic Society American Bulletin**, v.3, n.56, 1945.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente. **Tipos de Vegetação do bioma Amazônia**, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil**. Vol. 3. Rio de Janeiro, 1991.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia** (2ª edição). Rio de Janeiro, 2007.

IGREJA, H.L.S da. **Aspectos do Modelo Neotectônico da Placa Sul-Americana na Província Estrutural Amazônica, Brasil**. Tese de Doutorado em Geociências. Concurso para professor titular. Universidade Federal do Amazonas, 1998.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Boletim Agrometeorológico da região de Manaus**. INMET/Manaus, AM, 2016.

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais INPE. **Manual do Usuário do Catálogo de Imagens da DGI/INPE**. Disponível em: <www.dgi.inpe.br/CDSR>. Acesso em: 20 de março de 2016.

_____. **Topodata**: Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acesso em: 14 de junho de 2016.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Manual de geotecnia: taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas.** São Paulo, 1991.

JOHNSON, D.L. Meanings of environmental terms. In.: **Journal of environmental quality**, n.26, p. 581-589, 1997.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In.: LAL, R. (org.). **Soil erosion research methods.** Washington: Soil and Water Conservation Society, p. 141-160, 1988.

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, L.S. da. **Caracterização dos canais incisos da BR-174: trecho Manaus a Presidente Figueiredo (AM).** Relatório Final de Iniciação de Pesquisa (PIBIC). FAPEAM/Universidade Federal do Amazonas, 2013.

LIMA, M.K.F. **BR-174: A Expedição Calleri.** Monografia. Universidade Federal de Roraima, 2014.

LUZARDO, R. Geoparques Cachoeiras do Amazonas (AM), proposta. In.: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C.R. (org.). **Geoparques do Brasil: Propostas.** Rio de Janeiro: CPRM, 2012.

MANTOVANI, J.C. **Geomorfologia aplicada aos Estudos de Impacto Ambiental de empreendimentos rodoviários: subsídios aos órgãos ambientais brasileiros.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, São Paulo, 2015.

MARTINELLI, I. A. **Dois anos na floresta amazônica: abrindo estradas pioneiras nos anos de 1970 e 1971.** Porto Alegre/RGS: EST. 2004.

MENEGUZZO, I.S.; CHAICOUSKI, A. Reflexões acerca dos conceitos de degradação ambiental, impacto ambiental e conservação da natureza. In: **Geografia (Londrina)**, v.19, n.1, 2010.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF) - Procuradoria da Republica em Roraima. Obras da BR – 174, 2011. Disponível em <<http://www.prrr.mpf.mp.br/areas-de-atuacao/patrimonio-publico/rodovias/obras-nabr-174>>

MIRANDA, E.E. de. **Brasil em Relevô.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 31 maio 2016.

MOLINARI, D.C. **Dinâmica erosiva em cicatrizes de movimento de massa – Presidente Figueiredo (Amazonas).** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2007.

MOLINARI, D.C. Hidrologia, processos erosivos e movimentos de massa. In.: ALBUQUERQUE, A.R.C. (Org.). **Contribuições teórico-metodológica da Geografia Física.** Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA). Manaus, 2010.

MORAES, E. L.; COSTA, M. L. O Caulim de Manaus-Itacoatiara: Aspectos Mineralógicos e Geoquímicos. In.: **Geociências** (São Paulo), v. 16(1), 1997.

MOREIRA, I.V.D. **Vocabulário Básico de Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Feema/Petrobrás, 1992.

MORGAN, R. P. C. Soil Erosion and Conservation. **England: Blackwell**, 2005.

MULLER, A.J.; CARVALHO, A.S. Uso de Produtos CERBS para o Zoneamento Geoambiental de Presidente Figueiredo – Amazonas. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia: INPE, 2005.

NAVA, D.B.; MONTEIRO, E.A.; CORREIA, M.C. ARAÚJO, M.R.; SAMPAIO, R.R.L.; CAMPOS, G.S. **Socioeconomia do Município de Presidente Figueiredo (AM)**. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1998.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

NOGUEIRA A.C.R.; SARGES R.R. *Characterization and genesis of waterfalls of the Presidente Figueiredo region, northeast state of Amazonas, Brazil*. In. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 73, n. 02. Rio de Janeiro, 2001.

OLIVEIRA, M.A.T.de e MEIS, M.R.M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). In: **Geociências**. nº 4. São Paulo. p. 87-99, 1985.

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

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.

OLIVEIRA, T.G. **A construção da BR-174 (1967-1977) e os Waimiri-Atroari**. Monografia em História. Boa Vista: Universidade Federal de Roraima, 2016.

OLIVEIRA, W.F.; SÁ, R.A.; LEITE, M.E. Dinâmica do uso e ocupação do solo na área de drenagem do reservatório de abastecimento do sistema Juramento/MG. In.: **Revista Caminhos de Geografia**, vol. v. 17, n. 57, p. 92–106, 2016.

PELOGGIA, A. O Homem e o Ambiente Geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo. In.: **Revista do Departamento de Geografia**, vol. 16, p. 24-31, 2005.

PEREIRA, L. S.; JORGE, M.C.O.; GUERRA, A.J.T.; LAGO, T. Diagnóstico de processo hidro-erosivo em área degradada por meio de monitoramento de estação experimental em Ubatuba/SP. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 4, V.10, N.10, p.228– 234, 2014.

PEREIRA, L.S.; RODRIGUEZ, A.M. JORGE, M.C.; GUERRA, A.J.T.; FULLEN, M.A. Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. In.: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol.17, n. 2, 2016.

POESEN, J. **The influence of slope angle on infiltration rate and Hortoniano Overland flow volume.** In.: Z. Geomorph. N. F., 49, p. 117-131, 1984.

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

ROSS, J.L.S. Geomorfologia Aplicada aos EIA's/RIMA's. Cap 6. In. GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (org.). **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

ROSS, J.L.S. **Geografia do Brasil.** 3 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000.

ROCHA, V.B.; SILVA, P.R. de F.A. Emergência de novos lugares na Amazônia brasileira: a influência da rota BR-174 no estado de Roraima. In.: **Contribuições à Geografia da Amazônia Setentrional, Coleção Paisagem e Território Amazônico.** Volume 2. EDUFRR, Boa Vista, 2014.

RODRIGUES, R. **Erosão em rodovias: problema a ser resolvido.** 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru (SP), 1995.

RODRIGUES, E.P. **Dinâmica da paisagem no entorno da BR-174 (1978 - 2008).** Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (PPG/CASA), Mestrado Acadêmico, 2011a.

RODRIGUES, E.P.; PINHEIRO, E. S. O desflorestamento ao longo da rodovia BR-174 (Manaus/AM-Boa Vista/RR). In.: **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 513-528, 2011b.

RUBIRA, F.G. Monitoramento das feições erosivas do Parque Municipal do Cinquentenário e de suas áreas limítrofes. In.: **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 09, n. 02, p. 470-497, 2016.

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

SALOMÃO, F.X.T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In.: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C.R. **Geoparques do Brasil: Propostas.** CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, v. I., 2012.

SELBY, M.J. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford University Press. Oxford, Inglaterra, 1990.

SILVA, C.L. **Análise da neotectônica 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.

SILVA, A. S. da. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. – 6º ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SILVA, L.F.T.C; GUERRA, A.J.T. Avaliação da suscetibilidade à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físico-químicas dos solos). In. **Revista Geonorte**, v.6, n.25, 2015.

SOUZA, M. M. de. Perfil geológico da BR-174 (MANAUS-BOA VISTA) no trecho Manaus-Serra do Abonari. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia**, 1974.

SOUZA, J. M. **A Manaus – Boa Vista: Roteiro histórico**. Imprensa Oficial do Estado do Amazonas, 1977.

SOUZA, V. S; NOGUEIRA, A. C. R. Seção geológica Manaus-Presidente Figueiredo (AM), borda norte da Bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. In: **Revista Brasileira de Geociências**. Arquivo digital disponível no site: [www. sbgeo.org. br](http://www.sbgeo.org.br), 2009.

TAVARES, J. S. **Análise da ocorrência de voçorocas na BR – 174: trecho Manaus – Presidente Figueiredo**. Relatório de Iniciação Científica, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2010.

TAVARES, J.S.; VIEIRA, A.F.S.G. **Análise preliminar da ocorrência de voçorocas na BR 174, Trecho Manaus - Presidente Figueiredo (AM)**. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia - Sensitividade de Paisagens: Geomorfologia e as mudanças ambientais., 2010, Recife - PE. Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife - PE: UFPE, 2010.

TAUK-TORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H.G. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. São Paulo: Editora da UNESP, 1995.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Contexto: Rio de Janeiro, 2001.

USDA - United States Department of Agriculture. **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, (Handbook, 18).p. 437, 1993.

VENTURI, L.A.B. **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório**. Editora: Oficina de textos, 2009.

VIEIRA, A.F.S.G.; ALBUQUERQUE, A.R.da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). In: **V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul- Americano de Geomorfologia**. (Anais). Santa Maria: UGB/UFSM. p. 50-65, 2004.

VIEIRA, A.F.S.G.; MOLINARI, D. C. Dinâmica Erosiva em estradas: BR-174 e Urucu (Amazonas). In: **II Simpósio de Solos e Erosão do Centro-Oeste**. Departamento de Engenharia Civil: UFG, 2005.

VIEIRA, A.F.S.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. Tese de Doutorado. Florianópolis: DPGG, UFSC, 2008.

VIEIRA, A.F.S.G. Voçorocas e outras feições. In.: ALBUQUERQUE, A.R. da C. (orgs.). **Contribuições teórico-metodológicas da Geografia Física**. Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA). Manaus, 2010.

WATHERN, P. **Environmental Impact Assessment: theory and practice**. London: Unwin Hyman, 1988.

WESTMAN, W.E. **Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning**. New York: Wiley, 1985.