



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA – CCMN
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGEO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



ARMANDO BRITO DA FROTA FILHO

**ALTERAÇÕES ANTROPOGÊNICAS NA GEOMORFOLOGIA E SUAS INFLUÊNCIAS
NA ACELERAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS, NA BACIA HIDROGRÁFICA
COLÔNIA ANTÔNIO ALEIXO, MANAUS-AM.**

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA – CCMN
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IGEO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ARMANDO BRITO DA FROTA FILHO

**ALTERAÇÕES ANTROPOGÊNICAS NA GEOMORFOLOGIA E SUAS INFLUÊNCIAS
NA ACELERAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS, NA BACIA HIDROGRÁFICA
COLÔNIA ANTÔNIO ALEIXO, MANAUS-AM.**

Tese de doutorado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental), Instituto de Geociências, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental)..

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021

ARMANDO BRITO DA FROTA FILHO

Alterações antropogênicas na geomorfologia e suas influências na aceleração dos processos erosivos, na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental).

Aprovada em 14 de dezembro de 2021, por:



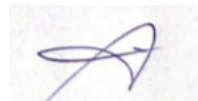
Prof Dr Antonio José Teixeira Guerra
(Orientador - Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ) (Videoconferência)



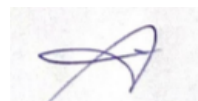
Prof Dr Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira
(Coorientador - Departamento de Geografia – IFCHS/UFAM) (Videoconferência)



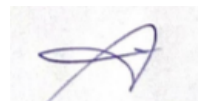
Prof. Dr. André de Souza Avelar
(Departamento de Geografia – IGEO/UFRJ) (Videoconferência)



Prof. Dra Helena Polivanov
(Departamento de Geologia – UFRJ) (Videoconferência)



Prof. Dra Rosângela Garrido Machado Botelho
(Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – IBGE) (Videoconferência)



Prof Dr Alex Ubiratan Goossens Peloggia
(Instituto do Legislativo Paulista - ALESP) (Videoconferência)

CIP - Catalogação na Publicação

BF941a Brito da Frota Filho, Armando
ALTERAÇÕES ANTROPOGÊNICAS NA GEOMORFOLOGIA E SUAS
INFLUÊNCIAS NA ACELERAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS,
NA BACIA HIDROGRÁFICA COLÔNIA ANTÔNIO ALEIXO, MANAUS
AM. / Armando Brito da Frota Filho. -- Rio de
Janeiro, 2021.
256 f.

Orientador: Antonio José Teixeira Guerra.
Coorientador: Antonio Fábio Sabbá Guimarães
Vieira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geografia, 2021.

1. Geomorfologia antropogênica. 2. Urbanização.
3. Erosão. 4. Voçoroca. 5. Depósitos tecnogênicos. I.
Teixeira Guerra, Antonio José, orient. II. Sabbá
Guimarães Vieira, Antonio Fábio, coorient. III.
Título.

Dedico este trabalho às mulheres da minha vida, em especial, a minha querida mãe, Maria Emília; minha avó, Zuleide (*in memorian*); minha madrinha Francisca; tia Lucinha e tia Izabel (*in memorian*), incansáveis, sempre dispostas a darem acolhimento e forças para o prosseguimento de minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a DEUS pela força concedida para iniciar e concluir este trabalho.

A minha mãe que sempre buscou mostrar que o estudo e o saber são os bens mais valiosos que existem, e por ter me dado todas as oportunidades possíveis. Além do apoio, seja nos momentos de campo em que fazia as refeições e em tantas outras ocasiões.

À minha família que esteve sempre ao meu lado, apoiando e dando forças, em especial, à tia Izabel (*in memoriam*) e à prima Rebeca que, na reta final, me ajudou, deu suporte e acompanhou a pesquisa de campo.

Aos governos que investiram tanto na Educação quanto na Ciência e Tecnologia, pois como aluno de instituições federais, sabedor da importância que estas duas pastas e todos os institutos e instituições ligadas a elas precisam ter, não haveria essa pesquisa, assim como muitas outras sem os devidos investimentos.

Agradeço a CAPES/CNPq pela concessão da bolsa, que foi de vital importância para o desenvolvimento desta pesquisa, dos trabalhos de campo e para apresentação de trabalhos em eventos.

A SEMED – Manaus que pelo programa Qualifica possibilitou a execução do doutorado.

À CPRM - Serviço Geológico do Brasil pela permissão de acessar a sua mapoteca.

Ao SIPAM – Serviço de Proteção da Amazônia pela disponibilização de imagens da cidade de Manaus.

Ao Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA, assim como a pessoa do Prof Dr Newton Paulo de Souza Falcão pela disponibilidade de insumos, assim como aos laboratoristas e técnicos que me ensinaram e me ajudaram no tratamento das amostras.

Ao prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra por me aceitar como orientando, e ainda mais, por aceitar o desafio de orientar um estudo, na cidade de Manaus, uma realidade tão diferente dos projetos atuais dele. Foram muitos diálogos e aprendizados nessa jornada, e acima de tudo a realização de um sonho, o de ser orientado por um dos maiores nomes da Geomorfologia Mundial (*World Wide*) e ter aprendido e apreendido tanto. Meus mais sinceros agradecimentos pela sua preocupação comigo, não só como orientando, mas como pessoa suscetível à fragilidade desse período pandêmico, demonstrado via mensagens e e-mails.

Ao prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, meu co-orientador que tanto me ajudou minha carreira acadêmica como um todo, em especial, nessa fase da pós-graduação em que incentivos não faltaram. Não há palavras para descrever a minha gratidão nessa jornada geográfica de mais de 12 anos, desde Iniciação Científica, monitorias, licenciatura, mestrado, bacharelado, artigos e capítulos de livro. Reitero todos agradecimentos feitos no mestrado, pois foi sua tranquilidade que trouxe calma aos momentos de desespero ou perdição ao tentar enriquecer o trabalho em execução. Agradeço também pela enorme paciência, presteza e dedicação neste período, me ensinando, aconselhando. A relação acadêmica construída aumentou o meu respeito e admiração tanto pela sua pessoa quanto pela sua função de professor, pesquisador e cientista.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ, pelo apoio, em especial, aos professores Dr Ricardo Cesar, Dr Manoel do Couto Fernandes, Dr Roberto Lobato Corrêa Dr Marcelo Lopes de Souza pelas valiosas aulas que muito embasaram este trabalho, e pelas novas visões sobre a ciência Geográfica.

Ao Prof. Dr Ricardo Cesar pelos vários conselhos e dicas nos meus primeiros anos de doutorado e UFRJ, assim como pelo seu apoio nos ensaios com bioindicadores e análise de metais pesados.

À Prof. Dra Rosangela Botelho pelas inúmeras conversas, trocas de ideias e dúvidas sanadas na questão de solos e geomorfologia, sempre me ensinando com paciência e dedicação.

À Prof. Sandra Cunha pelas aulas e conversas sobre questão da Geomorfologia Fluvial e o papel do homem nesse sistema, além das muitas trocas de experiências, sempre lembrarei de suas palavras de como o doutorado é uma pesquisa de fôlego.

Ao Prof. Dr Ricardo Nogueira, enquanto coordenador da Pós-graduação em Geografia da UFAM, possibilitou a ida do prof. Guerra para palestrar e realizar trabalho de campo.

Aos professores, Prof. Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, Prof^a Dr^a Jesuete Pacheco e que me fizeram trilhar pelo caminho da Geomorfologia.

Agradeço também aos membros da banca de qualificação, prof^a Dr^a Helena Polivanov e Dr André Avelar, pelas valiosas contribuições que ajudaram a nortear o trabalho e melhor delimitá-lo. Assim, como reitero o agradecimento a eles por aceitarem participar da banca juntamente com a Prof.Dr^a. Rosangela Botelho e Prof Dr. Alex Peloggia.

Aos meus amigos por me fazer lembrar, entender e pôr em prática que é preciso viver a vida enquanto se faz um doutorado.

Aos amigos vindos da Geografia e sempre me apoiaram, em especial, aos integrantes do “Geografia Viajante”, Mônica Cortêz, Anne Dirane, Sandra Pereira (Perê), Juliana Silva e Thaline Fontes, que foram ímpares nesta caminhada, pelas ajudas em campo, com o arcgis, na revisão e debates de partes do texto, pela companhia nos momentos de estresse e de desestresse, pelas várias vídeo chamadas, conversas, visitas e nossos debates de que começam na Geografia e passam por todas as temáticas e voltam para a nossa ciência de Referência.

À minha grande amiga Dra^a Camila Louzada por compartilhar comigo as dores e alegrias de fazer o doutorado fora da “terrinha”, das inúmeras conversas, palavras de apoio e palpites, na tese um do outro. Além de ser uma força da natureza personificada que me incentiva a publicar, o meu mais sincero muito obrigado.

À amiga Anne Dirane pelas valiosas discussões sobre processos erosivos, pela ajuda em campo.

À Monica Cortez pelas diversas dicas e conselhos na questão cartográfica e pela leitura do trabalho e contribuições para enriquecê-lo.

À Juliana Silva, intitulada a nossa Ju, que disponibilizou sua casa, de modo mito hospitaleiro, para passar um tempo, mas acima de tudo por toda nossa troca de experiências nesses períodos, sei que crescemos juntos, mas não deixamos de ser nós mesmos. Foram tantas conversas, pizzas

congeladas e o nosso sushi de Páscoa, no meu primeiro ano de Rio de Janeiro. Além, da Maria um presente que você deu ao grupo.

Ao gastrônomo, futuro mestre, e melhor amigo Mikel Maller pelos anos de convivência no *errjota*, desde a república no Tauá ao apto 302 no Cocotá, das conversas que dariam vários livros, apoio na jornada acadêmica e acima de tudo por todas as refeições maravilhosas. Sem esquecer passamos o período do isolamento (2020) juntos, passando raiva juntos, além de outros percalços que só quem mora com amigos pode ter conhecimento.

À família Frota do Rio de Janeiro, meus primos que me acolheram desde o período da seleção do doutorado até os últimos dias na cidade Maravilhosa, sou imensamente grato a todos, mas um agradecimento, mais que especial e sincero, ao Dennys e Fernando.

Ao Dennys Frota, meu primo estimado pelas várias conversas, saídas, histórias e jantares, foi maravilhoso poder conhecer um pouco mais você e toda a família.

Ao Fernando Cunha, primo querido, por ter me recebido em sua casa e sempre se preocupar comigo, mandando mensagens e chamando para encontrar com todos.

À Nivea Pimenta pelo apoio e incentivo nas horas de conversa e por me ajudar com seus conhecimentos e contados dentro da CPRM, além de me ajudar na pesquisa das imagens na mapoteca.

Aos amigos e colegas do programa de pós-graduação em Geografia, em especial, ao “bonde da malçã”, que é grupo de amigos que ia ao bandejão junto após a aula, que fazia a reserva dos horários e lugares juntos para trocar ideia. Os estranhos do ninho, foi ótimo viver essa experiência com vocês: Giselle Borges, Rafael Cardão e Elaine.

A todos do Lagesolos que tão bem me receberam nessa *tour* que foi o doutorado, foram muitos aprendizados, muitas idas ao laboratório e tantas conversas desde a vida às etapas dos processos erosivos – discussão que não tem conclusão – Obrigado por terem me acompanhado nessa trajetória, Leonardo Pereira, Aline Muniz, Domyinique Santos, Yolanda Molinaro, Hugo Alves, Hugo Pepe, Celina do Espirito Santo (companheira da terrinha), Maia do Carmo, Luana Rangel, Fabrizio Garritano, Guilherme Lima, Diego Janoti.

À Domyinique Santos, um presente que jamais pensei encontrar, uma grande amiga, companheira, parceira de aulas, e que tanto me ensinou no laboratório e me ajudou com as análises. Além das nossas várias conversas e jantares no bandejão, foram muitas experiências juntos que não caberiam num parágrafo, quiçá numa só página.

Ao Victor Hugo Salles (VHS), grande amigo e maravilhoso biblioteconomista que me ajudou nas referências e normatização da tese, muito obrigado por esse incrível trabalho.

Ao Hugo Alves, grande amigo, por dividir as angústias da trajetória, assim como pelas várias ideias de projetos que desenvolvemos, sendo o mais recente, o Quarta no Lagesolos. Obrigado, pelos conselhos, em especial, na reta final, e pela discussão em um dos capítulos da tese.

Ao Leonardo Pereira e Aline Muniz, não teria como separar vocês nem nos agradecimentos, fico grato pela nossa amizade, por me receberem no Rio de Janeiro e me acolherem no seu

grupo de amigos, pelos nossos lanches, cinemas e campos em Ubatuba. Foram muitas compartilhadas.

Ao amigo Msc. Roberto Epifânio, por me ajudar nos campos, na aquisição de dados cartográficos, em Manaus, onde não pude estar, além de sempre se mostrar disponível para conversar e distrair.

Ao Cláudio Flores, um amigo que só a cidade maravilhosa poderia ter me dado, obrigado pelas palavras gentis e sinceras, por que só alguém que passou pelo doutorado poderia oferecer a mim. Obrigado pelas saídas, conversas e aprendizados, além do prazer que é ver você atuando.

Ao amigo e geógrafo Vitor Dantas por todas as trocas de ideias sobre mapeamentos e me tirar de uns sufocos com o SIG.

À prof Aldrey Noronha, responsável pelo Qualifica que sempre foi tão gentil e atenciosa comigo, e pelas conversas ainda que breve na hora da entrega dos pareceres e documentos.

Ao Bruno de Jesus Ferreira, da secretaria do PPG-GEO UFRJ, pela ajuda nas documentações e sempre tão prestativo.

Ao senhor Walter Calheiros e sua filha Catarina Calheiros por me apresentarem a história do bairro Colônia Antônio Aleixo e pelo campo a barco pelo Lago do Aleixo.

Ao colega geógrafo Guilherme Vilagem pela ajuda com os mapas de uso e ocupação da área de estudo.

A Minerva, símbolo da UFRJ, universidade que me acolheu, e me proporcionou experiências único, entrei como um aspirante pesquisador e saio como um “pesquisador” com um pouco mais de conhecimento, vivências e uma visão de mundo mais ampla, do que de outrora.

À Dorothy/Dorotéia, a gata que nos últimos meses vem me fazendo companhia, deitando ao lado da mesa em que trabalho, estudo e passei horas escrevendo este trabalho.

A todos que colaboram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, pois sei que esqueci de nomear alguns (muitos), o doutorado é um trabalho individual, mas não precisa ser solitário.

Poeminho do Contra

“Todos esses que aí estão
Atravancando meu caminho,
Eles passarão...
Eu passarinho!”

Mario Quintana

Alterações antropogênicas na geomorfologia e suas influências na aceleração dos processos erosivos, na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.

RESUMO

No sítio urbano, as transformações na paisagem são mais evidentes, pois as mudanças têm escala espacial maior e temporal menor, com alterações geomorfológicas que ocorrem de forma direta com a criação de novas formas de relevo, e de maneira indireta pela intensificação de processos naturais. Cujas problemáticas destacam que os processos morfogênicos e pedogênicos são influenciados durante a urbanização e conseqüentemente no processo erosivo. A partir disso a pesquisa teve como objetivo geral, avaliar como as alterações na geomorfologia original influenciam na aceleração do desenvolvimento de processos erosivos na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM, e os objetivos específicos o de caracterizar a cobertura e uso da terra e suas influências no processo erosivo; identificar os estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidro geomorfológicos; mapear e monitorar as voçorocas da área de estudo; correlacionar às características pedo hidrogeomorfológicas e do uso e ocupação do solo à ocorrência de processos erosivos, e; mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas. A metodologia consistiu da elaboração de mapas de uso e ocupação da bacia, dos anos de 2001, 2007, 2013 e 2019, mapa de estágios de urbanização, referente a 2020, análise das características físicas, químicas, morfológicas e biológicas do solo, em ambientes com vegetação e com alteração antrópica na bacia, monitoramento da evolução de quatro feições erosivas por meio de VANT, nos anos de 2017 e 2020, e caracterização dos depósitos tecnogênicos no interior de voçorocas. Ao se observar os dados analisados: 1) o processo de uso e ocupação da bacia; 2) os estágios de urbanização e como cada um altera os processos pedo-geomorfológicos e hidrológicos, além; 3) das novas formas de relevo que trazem consigo novas dinâmicas hidro geomorfológicas; é possível indicar que tais fatores alteram e intensificam os processos naturais de evolução do relevo. Pois a maior quantidade de incisões se desenvolve nos estágios de urbanização 1 e 2, onde há maior alteração das dinâmicas hidrológicas, como redução da infiltração e aumento de fluxos superficiais, assim como nas áreas de encontros entre dois tipos de uso do solo diferentes, como urbanizada e solo exposto onde o fluxo intenso resulta nas incisões.

Palavras-chave: relevo antropogênico; urbanização; voçoroca; depósitos tecnogênicos

Anthropogenic changes in geomorphology and their influence on erosive processes acceleration in the Colônia Antônio Aleixo basin, Manaus-AM.

ABSTRACT

In the urban site, the transformations in the landscape are more evident, as the changes have a larger spatial and smaller temporal scale, resulting in geomorphological alterations that occur directly with the creation of new relief forms, and indirectly by the intensification of natural processes. Whose problematic highlights that the morphogenic and pedogenic processes are influenced during urbanization, likewise the erosive process. From this, the research had as general objective, to evaluate how changes in the original geomorphology influence the acceleration of the development of erosive processes in the Colônia Antônio Aleixo watershed, Manaus-AM, and the specific objectives are to characterize the land cover and land use and its influences on the erosive process; identify the stages of urbanization and their consequent changes in hydro-geomorphological processes; map and monitor gullies in the study area; correlate the pedo-hydrogeomorphological and land use and occupation characteristics with the occurrence of erosive processes, and; measure the environmental impacts related to gullies. soil characteristics analysis, in environments with vegetation and with anthropic alteration in the basin, monitoring the evolution of four erosive features by means of DRONE, in the years 2017 and 2020, and characterization of technogenic deposits inside gullies. When observing the analyzed data: 1) the process of use and occupation of the basin; 2) the stages of urbanization and how each one alters the pedo-geomorphological and hydrological processes, in addition; 3) new landforms that bring with them new hydro-geomorphological dynamics; it is possible to indicate that such factors alter and intensify the natural processes of relief evolution. Because the greatest number of incisions develops in stages 1 and 2 of urbanization, where there is greater change in hydrological dynamics, such as reduced infiltration and increased surface flows, as well as in areas where two different types of land use meet, such as urbanized and exposed soil where the intense flow results in the incisions.

Keywords: anthropogenic relief; urbanization; gully; technogenic deposits

Cambios antropogénicos en la geomorfología y su influencia en la aceleración de procesos erosivos en la cuenca Colonia Antônio Aleixo, Manaus-AM.

RESUMEN

En el sitio urbano, las transformaciones en el paisaje son más evidentes, ya que los cambios tienen una mayor escala espacial y menor escala temporal, con alteraciones geomorfológicas que ocurren directamente con la creación de nuevas formas de relieve, e indirectamente por la intensificación de los procesos naturales. Cuya problemática destaca que los procesos morfogénicos y pedogenéticos se ven influidos durante la urbanización y consecuentemente en el proceso erosivo. A partir de eso, la investigación tuvo como objetivo general evaluar cómo los cambios en la geomorfología original influyen en la aceleración del desarrollo de los procesos erosivos en la cuenca de la Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM, y los objetivos específicos son caracterizar la cobertura y el uso del suelo. y sus influencias en el proceso erosivo; identificar las etapas de urbanización y sus consecuentes cambios en los procesos hidrogeomorfológicos; mapear y monitorear cárcavas en el área de estudio; correlacionar las características pedo-hidrogeomorfológicas y de uso y ocupación del suelo con la ocurrencia de procesos erosivos, y; medir los impactos ambientales relacionados con las cárcavas. La metodología consistió de la elaboración de mapas de uso y ocupación de la cuenca, para los años 2001, 2007, 2013 y 2019, mapa de etapas de urbanización, referente al 2020, análisis de características físicas, químicas, morfológicas y biológicas del suelo, en ambientes con vegetación y con alteración antrópica en la cuenca, seguimiento de la evolución de cuatro cárcavas mediante drone, en años 2017 y 2020, y caracterización de depósitos tecnogénicos en el interior de cárcavas. Al observar los datos analizados: 1) el proceso de uso y ocupación de la cuenca; 2) las etapas de urbanización y cómo cada una altera los procesos pedo-geomorfológicos e hidrológicos, además; 3) nuevos accidentes geográficos que traen consigo nuevas dinámicas hidrogeomorfológicas; es posible indicar que tales factores alteran e intensifican los procesos naturales de evolución del relieve. Debido a que la mayor cantidad de incisiones se desarrolla en las etapas 1 y 2 de urbanización, donde hay mayor cambio en la dinámica hidrológica, como la reducción de la infiltración y el aumento de los flujos superficiales, así como en áreas donde confluyen dos tipos diferentes de uso de suelo, como urbanizado y suelo expuesto donde el flujo intenso da como resultado las incisiones del tipo cercava.

Palabras clave: relieve antropogénico; urbanización; cárcava; depósitos tecnogénicos.

Lista de Figura

Figura 1: Organograma dos principais ramos da ciência Geomorfológica, e as subdivisões da Geomorfologia Antropogênica. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	33
Figura 2: Esquema de intersecção entre a sobreposição do escopo da Geomorfologia e da Geografia Urbana. Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.....	37
Figura 3: Mapa de localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo.	50
Figura 4: Domínios geotectônicos com a distribuição dos principais distritos e províncias auríferos no Craton Amazônico. Fonte modificado de Cordani e Brito Neves (1982) por Coutinho (2008).	52
Figura 5: Voçoroca com controle estrutural na Bacia Colônia Antônio Aleixo. Falha Normal NW-SE. Fonte: Abreu <i>et al</i> , 2012.....	53
Figura 6: Área de terraplanagem no bairro Distrito Industrial II, BH Colônia Antônio Aleixo. Chave vermelha representa o volume de solo removido. Presença de falhamento. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015.....	54
Figura 7: Mapa das unidades morfoestruturais, em destaque a área de Manaus.	55
Figura 8 : Modelo Digital de Elevação com localização dos Perfis Topográficos da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.....	57
Figura 9: Perfil Transversal A-B, localizado no curso superior da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Frota Filho, 2016.	58
Figura 10: Perfil Transversal C-D, localizado no curso médio da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Frota Filho, 2016.	58
Figura 11: Perfil Transversal E-F, localizado no curso inferior da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Frota Filho, 2016.	58
Figura 12: Mapa de Forma do Terreno e localização das voçorocas da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.....	60
Figura 13 : Mapa de Declividade e localização das voçorocas da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.	62
Figura 14: Representação esquemática dos solos nas vertentes da região norte da Cidade de Manaus. Adaptado de Lucas, 1989.	64
Figura 15: Topossequencia 01 realizada na Bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, e pontos de tradagem (T1, T4, T3 e T2).....	65
Figura 16: Comparação dos mapas de pluviometria anual (à esquerda, em mm por ano) e Erosividade (em MJ mm ha-1 h-1 ano-1). Círculo vermelho destaca a cidade de Manaus. Fonte. Silva, 2004.....	68
Figura 17: Rede de Drenagem da bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo.	73
Figura 18: Perfil Longitudinal do rio principal da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. Fonte: Frota Filho (2016).....	74
Figura 19: Alterações na cobertura florestal urbana (1977, 1994 e 2011) de Manaus, AM, Brasil Circulo preto destaca a área da bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Pinheiro <i>et al</i> , 2013	76
Figura 20: Fluxograma dos objetivos, procedimentos operacionais e resultados esperados. Org: Armando Brito da Frota Filho e Diego Janoti Suarez, 2018.....	79
Figura 21: Formas de voçorocas (VIEIRA, 2008).....	85
Figura 22: Tipos de voçorocas OLIVEIRA (1989).	85
Figura 23: Infiltrômetro de <i>Hills</i>	87
Figura 24: Localização dos pontos de coleta de solo na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus (AM). Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	88
Figura 25: Trado holandês usado para coleta das amostras de solo	88
Figura 26: Amostras em processo de decantação da argila. Método da EMBRAPA (2017).	90
Figura 27: Triângulo de Classes texturais do Solo.	90
Figura 28: Exemplos de tipos de estruturas: Fonte: IBGE 2015.....	95
Figura 29: Teste de consistência (dureza). Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018	96
Figura 30: Critérios para determinação da plasticidade. Fonte: IBGE, 215	97

Figura 31: Cilindros feitos com as amostras. Em papel milimetrado com escala de 1cm. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018	97
Figura 32: Observação da presença a e distribuição das raízes. Foto Amando Brito da Frota Filho, 2018.	98
Figura 33: Observação da presença a e tamanho. Distribuição dos poros escala papel de 1 cm por quadrado Foto: Amando Brito da Frota Filho, 2018.....	98
Figura 34: Inserção de minhocas <i>Eisenia andrei</i> em recipientes com solo contaminado.....	100
Figura 35: Mapa de cobertura e uso da cidade de Manaus, com destaque à bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, em vermelho, referente ao ano de 1999: Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021. Fonte de dados: Inpe (1999).	103
Figura 36: Mapa de cobertura e uso da cidade de Manaus, com destaque à bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, em vermelho, referente ao ano de 2010: Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: Inpe (2010).	104
Figura 37: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2001: Elaboração: Guilherme Vilagelim e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2001.	108
Figura 38: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2007: Elaboração: Guilherme Vilagelim e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2007.	109
Figura 39: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2013: Elaboração: Guilherme Vilagelim e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2013.	111
Figura 40: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2018: Elaboração: Guilherme Vilagelim e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2018.	112
Figura 41: Mapa de cobertura e uso bacia Colônia Antônio Aleixo referente ao ano de 2018: Elaboração: Guilherme Vilagelim e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2018.	112
Figura 42: Cobertura e uso da terra da cabeceira da bacia Colônia Antônio Aleixo, nos anos de 2001, 2007, 2013 e 2018. Org: Armando Brito da Frota Filho.....	114
Figura 43: Imagem da parte montante da bacia Colônia Antônio Aleixo, contorno em vermelho. Fonte Google Earth 2021. Org: Armando Brito da Frota Filho	115
Figura 44: Solo exposto compactado no bairro Distrito Industrial II, bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2019.	115
Figura 45: Evolução da voçoroca, bairro Distrito Industrial II, BH Colônia Antônio Aleixo, com imagens dos anos de 2005, 2007, 2012 e 2013. Seta azul indica direção do fluxo superficial concentrado.....	117
Figura 46: Área representativa do estágio zero de urbanização na Bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Google Earth, 2021.	119
Figura 47: Área representativa do estágio um e dois de urbanização na Bacia Colônia Antônio Aleixo, respectivamente sinalizados nos quadros amarelo e vermelho. Fonte: Google Earth, 2021.	120
Figura 48: Área representativa do estágio três de urbanização na Bacia Colônia Antônio Aleixo, seta amarela para canal assoreado, resultante dos sedimentos de voçoroca a montante. Fonte: Google Earth, 2021.	121
Figura 49: Mapa dos estágios de urbanização da bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte da imagem: Google Earth 2020. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.....	125
Figura 50: Voçoroca localizada no bairro Distrito Industrial II, em contorno vermelho, seta azul indica a direção da canaleta, seta em amarelo indica saída da canaleta. Fonte: Fábio Vieira e Armando Brito da Frota Filho, 2018.....	127
Figura 51: Evolução de voçorocas, no bairro Distrito Industrial II, na bacia Colônia Antônio Aleixo. Ponto amarelo indica voçoroca em crescimento vertical, ponto laranja voçoroca com crescimento lateral. Fonte: Google Earth anos 2005, 2007 e 2013. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	129

Figura 52: Imagem de voçorocas monitoradas pelo VANT, destaque com círculo vermelho para a incisão localizada em meio à vegetação e a seta preta indicando a mancha na parede da voçoroca originada por uma canaleta. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	130
Figura 53: Mapa de localização das voçorocas ativas e inativas da bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus, AM. Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	131
Figura 54: Imagens obtidas por drone em 2017, da voçoroca que perdeu suas características. A – Visão de cima da incisão; B – Visão frontal da incisão, seta vermelha indica cabeceira da voçoroca. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	132
Figura 55: Mapa de localização das voçorocas monitoradas entre os anos de 2017 e 2020, Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	132
Figura 56: Imagens frontais das voçorocas 03 e 04, realizada por Vant referentes aos anos de 2017 e 2020. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	135
Figura 57: Fenda de tração na borda da voçoroca 01. Em vermelho o destaque do contorno da fenda, bairro Distrito Industrial II. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	138
Figura 58: Fenda de tração na borda da voçoroca 01, bairro Distrito Industrial II. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	138
Figura 59: Cicatrizes de movimento gravitacional de massa, do tipo queda em bloco, no interior da voçoroca, indicando atividade recente. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.....	138
Figura 60: Sulco encontrado nas bordas da voçoroca, no interior deste sulco, nota-se uma marmita torrencial, oriunda de fluxos turbulentos. Largura de 10 cm. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018	138
Figura 61: Monitoramento da voçoroca 01, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	140
Figura 62: Monitoramento da voçoroca 01, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	141
Figura 63: Voçoroca 01, nos monitoramentos, referentes de 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior. A esquerda dos modelos digitais do terreno e à direita imagens ortoretificadas, todos com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	142
Figura 64: Monitoramento da voçoroca 02, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	145
Figura 65: Monitoramento da voçoroca 02, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	146
Figura 66: Voçoroca 02, nos monitoramentos referentes a 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior. A esquerda dos modelos digitais do terreno e à direita imagens ortoretificadas, todos com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	147
Figura 67: Parte da parede direita da voçoroca 03 colapsada. Em linha vermelha tracejada, simula o formato da parede antes do desmoronamento. Fonte Armando Brito da Frota Filho, 2019.....	149
Figura 68: Monitoramento da voçoroca 03, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	150
Figura 69: Monitoramento da voçoroca 03, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF),	

ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	151
Figura 70: Voçoroca 03 e 04, nos monitoramentos, referentes a 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior. A esquerda dos modelos digitais do terreno e à direita imagens ortoretificadas, todos com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	152
Figura 71: Monitoramento da voçoroca 04, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	154
Figura 72: Monitoramento da voçoroca 04, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB e CD), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	155
Figura 73: Acesso ao local do ponto de coleta 01, bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	158
Figura 74: Imagem por VANT do ponto amarelo marca o local de coleta de amostra 02, próximo à borda da voçoroca (linha tracejada em vermelho), na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM. Fonte: VANT - LATOSSOLO 1, 2018.	158
Figura 75: Local do ponto nº 03 de coleta de amostras de solo e realização de teste resistência à penetração e infiltração, bacia Colônia Antônio Aleixo. Notar a presença de crostas ferruginosas. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	159
Figura 76: Voçoroca localizada, no bairro Distrito Industrial II, BH Colônia Antônio Aleixo. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	159
Figura 77: Porosidades e raízes no solo no Ponto 1. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	161
Figura 78: Presença de minhocas no solo do ponto 1. Bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	161
Figura 79: A – Teste de resistência à penetração; B – Ponto 1, no terço médio da encosta, bacia Colônia Antônio Aleixo. Org. Armando B. da Frota Filho.	162
Figura 80: A – Teste de resistência à penetração; B – Ponto 2, topo da encosta, bacia Colônia Antônio Aleixo. Org. Armando B. da Frota Filho.	167
Figura 81: Resultado do teste de plasticidade na amostra de solo no ponto 03, da bacia Colônia Antônio Aleixo. Cada quadrado equivale a 1 cm. Fonte: Armando Brito da Frota Filho.	172
Figura 82: A – Teste de resistência à penetração; B – Ponto 3, topo da encosta, bacia Colônia Antônio Aleixo. Org. Armando B. da Frota Filho.	173
Figura 83: Triângulo textural da EMBRAPA/IBGE U.S.D.A com os pontos de amostragem, em verde ponto 01 (<i>Clay/</i> Argila); em amarelo se referem ao ponto 02 (<i>clay/</i> Argila); e em vermelhos ao ponto 03 (<i>Sandy clayloam/</i> Argila arenosa). Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.	176
Figura 84: Agregados do <i>topsoil</i> do ponto 3 A: profundidade de 0 a 10cm. B: Profundidade de 10 a 20cm Foto: Armando Brito da Frita Filho.	179
Figura 85: Solo com presença de crostas de alteração pela presença de argilas lateríticas ponto 3, terreno alterado com solo exposto sem ocupação humana, bairro Distrito Industrial II, bacia Colônia Antônio Aleixo. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	182
Figura 86: Imagem do Google Earth das voçorocas 01 e 02, destaque para o leque sedimentar na voçoroca 02, a direita da pista. Fonte: Imagem Google Earth, 2020. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	186
Figura 87: Imagem do Google Earth das voçorocas 03 e 04, em tracejado vermelho área da voçoroca que foi descaracterizada. Fonte: Imagem Google Earth, 2020. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	187
Figura 88: Mapa de localização das voçorocas com depósitos tecnogênicos (gárbicos e úrbicos) na bacia Colônia Antônio Aleixo. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.	189
Figura 89: Placa localizada próxima à cabeceira de uma voçoroca, no bairro Gilberto Mestrinho, na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus- AM. Fonte: Roberto Epifânio Lessa, 2016.	190

Figura 90: Voçoroca com deposição Tecnogênia Gárbica, no bairro Jorge Teixeira. Linha tracejada em vermelho indica a borda e limites da voçoroca. As setas pretas indicam os resíduos sólidos. Seta vermelha indica a presença de bananeiras no interior da incisão. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015.	190
Figura 91: Mosaico com séria histórica (anos de 2014; 2015; 2017; e 2018 – escala de 200 metros) da evolução de uma voçoroca pela ação humana sinalizada pelo quadro vermelho, localizado no bairro Distrito Industrial II, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM. Fonte de Imagens: Google Earth. Org: Armando Brito da Frota Filho.	193
Figura 92: Cabeceira de uma voçoroca, no Bairro Distrito Industrial II. Setas pretas indicam os restos de uma árvore, seta azul borda da voçoroca. Fonte: Antônio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, 2011.	194
Figura 93: Cabeceira de uma voçoroca no Bairro Distrito Industrial II, com intervenção humana e deposição tecnogênica. Seta azul borda da voçoroca. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015....	194
Figura 94: Interior de uma voçoroca no Bairro Distrito Industrial II, com intervenção humana e deposição tecnogênica. Seta vermelha indica a localização da Deposição Tecnogênica; Seta amarela indica o canal assoreado, 2016.	194
Figura 95 : Cabeceira de uma voçoroca no Bairro Distrito Industrial II, com intervenção humana, escavação e deposição tecnogênica. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	194
Figura 96: Depósitos tecnogênicos inconsolidados no interior da voçoroca. Destaque na imagem para a composição do material. Bairro Distrito Industrial II. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	195
Figura 97: Triângulo textural U.S.D.A, Ponto vermelho – Sedimento contaminado; Ponto amarelo – sedimento limpo. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	196
Figura 98: Depósito tecnogênico gárbico e úrbico com processo de pedogênese (círculo vermelho). Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.	199
Figura 99: Organograma dos processos que formam as feições antropogênicas. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.	206
Figura 100: Vegetação crescendo sobre deposição tecnogênica gárbica no interior de uma voçoroca, bairro Jorge Teixeira, bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020. ...	218
Figura 101: Área do Patamar antropogênico – terraplanagem, com a voçorocas 01 e em vermelho incisão que se formou nessa mesma forma de relevo. Imagens da séria histórica do Google Earth dos anos de 2004 e 2006. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2021.	219

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classes hipsométricas e seus valores em área (km ²) e porcentagem (%) na Bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo	56
Tabela 2: Classes de Forma do Terreno (forma da vertente) e seus valores em área (km ²) e porcentagem (%) na Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo	59
Tabela 3: Relação da distribuição das Voçorocas e Classes de Declividade	61
Tabela 4: Desmatamento e áreas verdes em Manaus (1986 a 2004).....	75
Tabela 5: Dados de cobertura e uso da terra da cidade de Manaus.	105
Tabela 6: Dados de cobertura e uso da terra, referente à bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.	113
Tabela 7: Dados dos estágios de urbanização da bacia Colônia Antônio Aleixo.	124
Tabela 8: Quantidade de voçorocas encontradas na bacia Colônia Antônio Aleixo	130
Tabela 9: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referente a voçoroca 01.	139
Tabela 10: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referentes à voçoroca 02.....	143
Tabela 11: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referentes à voçoroca 03.....	148
Tabela 12: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referente a voçoroca 04.	153
Tabela 13: Características físicas das amostras de solo no ponto 1, terço médio da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo.	160
Tabela 14: Teor de carbono e matéria orgânica, nas amostras de solo no ponto 1, terço médio da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo.	162
Tabela 15: Valores de resistência à penetração no ponto 1.....	163
Tabela 16: Comparação entre dados de infiltração realizada em áreas vegetadas, na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.	164
Tabela 17: Características físicas do solo, ponto 2, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.	166
Tabela 18: Teor de Carbono e matéria orgânica nas amostras do ponto 2.	166
Tabela 19: Valores de resistência a penetração no ponto 2.....	168
Tabela 20: Características físicas do solo, ponto 3, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.	171
Tabela 21: Teor de carbono e matéria orgânica, nas amostras do ponto 3.	172
Tabela 22: Valores de resistência à penetração, no ponto 03.....	173
Tabela 23: Comparação entre dados de infiltração realizados, na bacia Colônia Antônio Aleixo	175
Tabela 24: Síntese dos atributos do <i>topsoil</i> , nos Pontos 1, 2 e 3.....	178
Tabela 25: Valores de pH do solo, nos pontos coletados.....	181
Tabela 26: Valores de resistência à penetração, nos pontos 01, 02 e 03.	183
Tabela 27: Parâmetros químicos avaliados, nos pontos 1,2 e 3, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.	184
Tabela 28: Dados de volume e toneladas erodidas pelas voçorocas	186
Tabela 29: Dados granulométricos dos sedimentos	197
Tabela 30: Características físicas dos sedimentos.	198
Tabela 31: Teor de Carbono e matéria orgânica nas amostras de sedimento.....	199
Tabela 32: Dados de pH sedimentos limpos e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.	199
Tabela 33: Síntese dos parâmetros químicos (fertilidade do solo) avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.	200
Tabela 34: Síntese dos parâmetros químicos (metais pesados) avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.	201

Lista de Quadros

Quadro 1: Síntese das principais definições de Geomorfologia Antropogênica.	32
Quadro 2: Disposição das vertentes e suas formas em curvatura horizontal e curvatura vertical e seus valores em porcentagem (%) na Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo	59
Quadro 3: Chave de interpretação dos estágios de urbanização por meio de Imagens do <i>Google Earth Pro</i> , com amostras na bacia, referente ao ano de 2021	83
Quadro 4: Classificação das voçorocas por tamanho (m ³).....	85
Quadro 5: Caracterização dos tipos de estrutura do solo.	95
Quadro 6: Classes de estruturas segundo a forma da estrutura do solo.....	95
Quadro 7: Parâmetros para análise de consistência do solo.....	97
Quadro 8: Parâmetros de classificação dos poros e raízes do solo.....	98
Quadro 9: Morfologia Original e Morfologia Antropogênica da bacia Colônia Antônio Aleixo	123
Quadro 10: Características do local em que as voçorocas monitoradas se encontram	133
Quadro 11: Síntese das características das voçorocas monitoradas.	156
Quadro 12: Síntese das informações gerais dos pontos de coleta de solo, na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus - AM.	157
Quadro 13: Aplicação da classificação taxonômica na bacia Colônia Antônio Aleixo.....	209
Quadro 14: Ficha com as características da forma – Talude antropogênico	210
Quadro 15: Ficha com as características da forma – Encosta antropogênica.....	211
Quadro 16: Ficha com as características da forma – Patamar antropogênico	212
Quadro 17: Ficha com as características da forma – Planície antropogênica.....	213
Quadro 18: Ficha com as características da forma – Planície antropogênica.....	214
Quadro 19: Ficha com as características da forma – Planície antropogênica.....	215
Quadro 20: Ficha com as características da forma – Terraço antropogênico.....	216
Quadro 21: Parâmetros físicos avaliados nos pontos 1,2 e 3, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.....	253
Quadro 22: Parâmetros químicos avaliados nos pontos 1,2 e 3, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.....	254
Quadro 23: Parâmetros físicos avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.....	255
Quadro 24: Parâmetros químicos (fertilidade do solo) avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.....	256

Lista de gráficos

Gráfico 1:Índice de erosividade anual de 1961 a 2015, em Manaus- AM Fonte: Fernandes (2014) e Fernandes (2017). Org. Armando Brito da Frota Filho.	70
Gráfico 2:Índice de erosividade mensal do período de 1986 a 2015, em Manaus- AM Fonte: Fernandes (2017).....	71
Gráfico 3: Cobertura e uso da terra da cidade de Manaus. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.	105
Gráfico 4: Cobertura e uso da terra referente à bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.....	113
Gráfico 5: Estágios de urbanização da bacia Colônia Antônio Aleixo. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.....	124
Gráfico 6: Evolução da largura média das incisões. Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020	133
Gráfico 7: Evolução do comprimento médio das incisões. Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020	134
Gráfico 8: Evolução da profundidade das incisões. Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.....	135
Gráfico 9: Evolução da área das incisões	136
Gráfico 10: Evolução do volume das incisões.	136
Gráfico 11: Granulometria das amostras de solo no ponto 1, terço médio da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus, AM.....	160
Gráfico 12: Teste de Infiltração realizado, no terço superior da vertente - Ponto 1, com linha de tendência em pontilhado.....	163
Gráfico 13: Granulometria no ponto 2, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus, - AM	165
Gráfico 14: Teste de Infiltração realizado no Ponto 2 - topo da vertente, com linha de tendência na cor preta.	169
Gráfico 15: Granulometria do solo no ponto 3, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo.....	170
Gráfico 16: Teste de Infiltração realizado em área degradada, no bairro Distrito Industrial II – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.....	174
Gráfico 17: Granulometria nos pontos 1, 2 e 3.....	176
Gráfico 18: Teste com crônica com uso de bioindicadores, uso de Enseia andrei. Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.	202

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	24
1.1 Apresentação da problemática e objetivo da pesquisa	25
2 REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 Ambiente na ciência geográfica	29
2.2 Geomorfologia antropogênica – paisagens feitas à mão	30
2.2.1 Geomorfologia urbana – a sociedade como agente modificador	35
2.2.2 O relevo antropogênico – uma breve discussão sobre a importância da sua taxonomia	38
2.3 Erosão e conservação dos solos	40
2.3.1 Ravinas	42
2.3.2 Voçorocas	43
2.3.3 Feições de Retrabalhamento	48
3 ÁREA DE ESTUDO	50
3.1 Localização	50
3.2 Geologia	50
3.3 Geomorfologia	54
3.4 Solos	63
3.5 Clima	66
3.6 Hidrografia	71
3.7 Vegetação	74
4 METODOLOGIA	77
4.1 Caracterização da cobertura e uso da terra suas influências no processo erosivo na bacia Colônia Antônio Aleixo	80
4.2 Identificação dos estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos	81
4.3 Mapeamento e monitoramento das voçorocas da bacia	83
4.4 Correlação das características pedo – hidro – geomorfológicas e da cobertura e uso da terra à ocorrência de processos erosivos	85
4.5 Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas	99
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	101
5.1 Cobertura e uso da terra e suas influências no processo erosivo	101
5.1.1 Evolução da cobertura e uso da terra entre 1999 e 2010 na cidade de Manaus e sua influência no processo de urbanização na bacia Colônia Antônio Aleixo	101
5.1.2 Evolução da cobertura e uso da terra e urbanização entre 2001 a 2018 na bacia Colônia Antônio Aleixo	106

5.2	Estágios de urbanização e suas alterações nos processos hidro geomorfológicos	119
5.3	Mapeamento e monitoramento das voçorocas da área de estudo	129
5.4	Caracterização pedo hidro geomorfológicas da bacia Colônia Antônio Aleixo	157
5.4.1	Descrição dos pontos de coleta	158
5.4.2	Análise do ponto de coleta 1	159
5.4.3	Análise do ponto de coleta 2	165
5.4.4	Análise do ponto de coleta 3	169
5.4.5	Análise integrada dos pontos de coleta	175
5.5	Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas	185
5.5.1	Assoreamento de canais	185
5.5.2	Depósitos tecnogênicos	187
5.5.3	Caracterização das propriedade físico-químicas dos sedimentos	195
5.5.4	Ensaio com bioindicadores nos sedimentos	201
5.6	Geomorfologia antropogênica e suas influências nos processos erosivos na bacia Colônia Antônio Aleixo	205
5.6.1	Classificação do relevo antropogênico	205
6	CONCLUSÕES	221
7	REFERÊNCIAS	228
8	APÊNDICES	252

INTRODUÇÃO

O ambiente é produto de múltiplas interações de fatores físicos, biológicos, sociais, econômicos e culturais que se relacionam tanto no tempo quanto no espaço (PASSOS, 2009), e qualquer alteração nesta frágil dinâmica pode influenciar diversos aspectos do sistema. Apesar das ações humanas serem partes integrantes do sistema, estão apresentando cada vez mais relevância pelos seus impactos ao meio físico.

Isso ocorre devido à evolução tecnológica associada ao sistema socioeconômico que geraram transformações graduais e intensas (em diferentes escalas e extensões espaciais) nos elementos dos sistemas físico-ambientais. Em especial, as que são diretamente influenciadas pelas atividades humanas como a alterações na cobertura vegetal, pedológica, nas formas do relevo e na rede hidrográfica (PASCHOAL *et al.*, 2015), tendo como consequência o dito meio técnico-científico-informacional.

Estas transformações são derivadas do processo de ocupação do espaço, que como Castro (2015) aponta, toda ação de ocupação é por definição conflituosa, pois há múltiplas visões e interesses sobre o espaço, seja rural, urbano ou natural (pouco ou não alterado).

Nessa tônica, as cidades sempre foram a representação máxima de organização e estrutura social, sendo uma resposta as necessidades das sociedades, pela vulnerabilidade frente à necessidade de recursos como: água, alimento e moradia. E, sobre isso Sant'anna Neto (2011, p.3) explana que os espaços urbanos “ao mesmo tempo em que criam oportunidades civilizatórias, também se transformam em armadilha ambiental”. Pois à medida que a sociedade interfere/transforma o meio físico ocorre aumento na fragilidade ambiental, desenvolvendo áreas vulneráveis e intensificando dinâmicas naturais, tais como os processos erosivos, movimentos de massa, enchentes, dentre outros.

Em ambientes urbanos devido às alterações na geomorfologia original¹, incide no desencadeamento de processos erosivos, pois os caminhos naturais da água são resumidos à infiltração e principalmente ao escoamento (COELHO NETTO, 1994; TUCCI; CLARKE, 1997; COELHO NETTO, 2005; BOTELHO, 2011). Isso ocorre, porque outros processos referentes ao ciclo hidrológico são interrompidos e/ou reduzidos, como a evapotranspiração, fluxo de tronco, percolação e exfiltração.

¹ Aqui se utiliza da discussão de Rodrigues (2011) que distingue morfologia original e morfologia antropogênica, a primeira sendo morfologia representativa de fases pré-intervenção morfológica, e a segunda, pós-intervenção.

Em razão da falta de vegetação, ausência do horizonte orgânico do solo e da impermeabilização do solo, as taxas de infiltração são reduzidas, acentuando o escoamento superficial e, por sua vez, acrescendo os processos erosivos.

É neste contexto que a Geografia, uma das ciências que mais estuda o espaço e as relações que nele ocorrem, faz-se presente, não somente a partir da sua construção e transformação, seja natural, rural ou urbano (geografia urbana ou rural, política, população, econômica, histórica ou cultural), mas também considerando o substrato sobre o qual se ergue (geologia, geomorfologia e pedologia), seus impactos nos meios bióticos (biogeografia) e abióticos e (climatologia e meteorologia).

Assim, muitos ramos da Ciência Geográfica tentam explicar a produção espaço urbano e a evolução das paisagens das cidades, na perspectiva das relações com as características físicas. Mais especificamente com a geomorfologia e pedologia, entre eles há o destaque a Geomorfologia Antropogênica e Geomorfologia Urbana.

Aziz Ab'Saber iniciou muitas discussões nessa temática, em especial, com o trabalho intitulado “Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo”, publicado em 1957. Goudie e Viles (1997) conceituam a geomorfologia urbana como uma compreensão da relação existente entre fatores do meio físico e os impactos provocados pela ocupação humana, em ambiente urbano.

Para Jorge (2011) a geomorfologia urbana deve: (i) conhecer a topografia na qual a cidade está inserida; (ii) entender os processos geomorfológicos atuais modificados pela urbanização; (iii) predizer as futuras mudanças no relevo que possam ocorrer.

A luz da capacidade de alteração do relevo pelos seres humanos, Nir (1983) afirma que a humanidade se tornou um agente de modificação das formas naturais tão importante quanto qualquer outro agente geomorfológico. O referido autor no seu livro “*Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology*” aponta na direção de uma geomorfologia antropogênica (antropogeomorfologia) que visa o estudo da evolução do relevo, tendo o homem como agente principal.

1.1 Apresentação da problemática e objetivo da pesquisa

A modificação do comportamento nos processos hidrogeomorfológicos acarreta na alteração do relevo tendo potencial de acelerar o processo natural de evolução, modificar seu ritmo e acentuar suas consequências (COELHO NETTO, 2005; GUERRA, 2016).

Nessa perspectiva mostra-se a importância do estudo da antropogeomorfologia (Geomorfologia Antropogênica), visto as consequências das transformações do/no relevo, a se

considerar que seu estudo pode se dar tanto em ambiente rural, quanto urbano, ou mesmo em espaço alterado pelo ser humano. Nir (1985), Jorge (2011), Rodrigues e Gouveia (2013) explicitam que há processos antropogênicos diretos e indiretos.

Dentre os diretos, destacam-se alteração das feições morfológicas das encostas, mudança da estrutura do solo ou sua remoção completa, interferência nas condições hidrológicas. Enquanto, os indiretos são marcados pela erosão, assoreamento de canais e movimentos de massa.

Autores como Guerra (1996, 2014), Rodrigues (2001), Gouveia e Rodrigues (2013) e Moroz-Caccia Gouveia e Rodrigues (2017) apontam que além da remoção da vegetação, as alterações na cobertura pedológica e nas características das encostas influenciam diretamente no desenvolvimento de feições erosivas lineares, como voçorocas.

E dessa forma, o processo de expansão urbana tem influenciado diretamente no desenvolvimento de voçorocas nas cidades. Uma vez que, o Brasil apresenta altos índices pluviométricos, associados à remoção da vegetação e mudanças nas características físicas e morfológicas que intensificam o desenvolvimento não só de feições erosivas, mas também estas tenham grandes dimensões, como pode ser observado em trabalhos de Vieira e Albuquerque (2004), Vieira (2008), Guerra (2014) e Frota Filho (2016).

Quanto a isso, Rodrigues e Gouveia (2013) interpretam a urbanização do espaço como um processo que passa por três fases distintas, cada uma com características específicas que afetam os processos hidrogeomorfológicos. Sendo elas chamadas de fase: pré-urbana; em processo de urbanização e urbanização consolidada.

Ambientes com características geomorfológicas que propiciam o desencadeamento de erosões e suas feições como voçorocas, por exemplo, tendem a ser mais susceptíveis ao processo de urbanização.

A se considerar que Vieira (2008) ao estudar os processos erosivos, na cidade de Manaus, confirmou que há maior concentração de voçorocas em sua porção leste, no Platô Leste, pois a dissecação, aqui descritas pela combinação das características do relevo (encostas com grande declividade, mais curtas e com perfis longitudinais convexos) o torna ambiente propício ao surgimento de processos erosivos, e conseqüentemente feições erosivas como voçorocas.

Neste platô se encontram a bacia Boa Vista e a Bacia Colônia Antônio Aleixo, que de acordo com Vieira (2008) no trabalho supracitado, apresentavam a maior quantidade de incisões, com ambas tendo características geomorfológicas semelhantes. Sendo o principal

diferencial entre elas, o processo de ocupação e área da bacia urbanizada, o que atribuiu maior quantidade de voçorocas à bacia Colônia Antônio Aleixo.

Faz-se necessário um estudo mais aprofundado sobre o processo de urbanização associado às questões geomorfológicas, a fim de prevenir o surgimento de incisões, ou formas de mitigar ou mesmo conter estas feições.

Com base nessa discussão, a problemática que orientou a presente tese de doutorado está concerne à relação entre o processo de expansão urbana e o desenvolvimento de feições erosivas, mais especificamente em qual ou quais estágios do processo de urbanização as incisões tendem a se desenvolver, considerando quantidade de incisões e proporções/dimensões. Sendo essa uma parte da cidade que já apresenta maior potencial para o surgimento de voçorocas, logo, após as características geomorfológicas (originais), as alterações antropogênicas entram como um fator gatilho no desenvolvimento, seja pelo processo de desmatamento de encostas e platôs, retilinização de encostas, alteração e remoção de horizontes do solo, entre outros.

Assim, apresenta-se a hipótese de que a geomorfologia de Manaus é o fator condicionante para o desenvolvimento de voçorocas na cidade (em especial, na bacia Colônia Antônio Aleixo), contudo, a forma de ocupação e o estágio de urbanização são fatores que comandam e definem número, intensidade e dimensão dessas incisões, e conseqüentemente sua vulnerabilidade, assim como as novas formas de relevo.

Para tanto, foram elaborados alguns questionamentos que norteiam os objetivos do trabalho: Onde estão localizadas as voçorocas? Qual seu ritmo e forma de crescimento? Quais os usos e ocupação do solo na área de estudo? Qual a sua influência no processo erosivo? A literatura aponta que as voçorocas tendem a se desenvolver em locais que sofreram interferência humana, nesse caso, quais foram alterações nos processos hidrogeomorfológicos? As voçorocas por si só são um impacto ao ambiente e aos moradores de suas adjacências, mas quais impactos secundários a voçoroca pode causar? Como os fatores sociais e urbanos se relacionam com a intensificação das áreas vulneráveis? Em quais estágios de urbanização há ou houve maior incidência de voçorocas?

Apoiado nestas questões, o objetivo geral da tese é: avaliar como as alterações na geomorfologia original influenciam na aceleração do desenvolvimento de processos erosivos na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.

Com os seguintes objetivos específicos, que vem auxiliar a responder o objetivo geral:

- Caracterizar a ocupação e uso da terra e suas influências no processo erosivo;

- Identificar os estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos;
- Mapear e monitorar as voçorocas da área de estudo;
- Correlacionar às características pedo-hidrogeomorfológicas e da ocupação e uso da terra à ocorrência de processos erosivos;
- Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas.

Assim, a tese está estruturada em quatro seções, sendo que a primeira trata do referencial teórico, a segunda versa sobre a área de estudo, a terceira trata da metodologia utilizada para alcançar cada objetivo da pesquisa, a quarta reúne os resultados e discussões do trabalho e a tese se encerra com as conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo de referencial teórico, são abordados os seguintes temas: Ambiente, Geomorfologia Antropogênica, Geomorfologia Urbana, Taxonomia do Relevo, Erosão, Ravinas, Voçorocas e Feições de retrabalhamento.

Em Ambiente na ciência geográfica, a discussão visa fazer uma introdução conceitual a questão “ambiente” na tese, abordando o papel das atividades humanas no seu processo evolutivo. Assim como a relação natureza-sociedade/sociedade-natureza que chegam à urbanização como processo de mudança do ambiente, da paisagem e do relevo.

O segundo tópico de discussão é a apresentação dos conceitos de Geomorfologia Antropogênica, calcada em autores nacionais e internacionais, dos clássicos ao estado da arte. Assim desenvolvendo um conceito que abranja que preencha lacunas teórico-conceituais, sendo utilizado na tese, tal qual como na discussão dos resultados.

Além disso, este item é subdividido em Geomorfologia Urbana por ser um dos tópicos centrais do trabalho, além de ser uma das ramificações da Geomorfologia Antropogênica. Conforme, o debate sobre a Taxonomia do Relevo, aqui considerando as formas antropogênicas, com base tanto autores das áreas de classificação do relevo, como os estudiosos da geomorfologia antropogênica, assim considerando formas, materiais, processos de formação (HART,1986) e o sua susceptibilidade aos processos erosivos.

Por fim, na última sessão é tratada da questão erosiva, aqui intitulada de “Erosão e Conservação dos Solos”, trazendo os conceitos básicos para os estudos erosivos, desde gatilhos, fases e processos. Em seguida, o tópico é subdividido em Ravinas, Voçorocas e Feições de retrabalhamento, elucidando qual o conceito a ser utilizado na tese. No caso das voçorocas, trabalha-se com as classificações possíveis e que são basilares para as discussões dos resultados.

2.1 Ambiente na ciência geográfica

A Geografia, como ciência, é um dos ramos que estuda a evolução do espaço, desde seu ponto de partida, planejamento, desenvolvimento e os impactos que nele ocorrem, sejam naturais ou sociais. Contudo, as relações de produção do espaço pelos homens mudam conforme as leis, as quais implicam a formação econômico-social e por conseguinte, as relações entre a sociedade e a natureza (CASSETI, 1991; RODRIGUEZ *et al.*, 2010), o que faz com que cada sítio urbano seja distinto dos demais, visto que os processos de urbanização ocorrem considerando as características individuais dos locais, sejam elas políticas, sociais ou biofísicas.

Assim, admite-se que o meio natural é o substrato e que as atividades humanas respondem pela organização do espaço, conforme os padrões econômicos e culturais da época. Portanto, quanto maior o avanço científico-tecnológico de um povo/sociedade, maiores serão as imposições ao meio natural e maiores alterações ocorrerão, o que implica o próprio comportamento ambiental, em uma dinâmica de ação-reação entre sociedade e natureza.

A exemplo disso, o processo de urbanização das grandes cidades dos países desenvolvidos e subdesenvolvidos (incluem-se os países “em desenvolvimento”) não ocorreu de maneira semelhante. Ao mudar de escala, a mesma comparação pode ser realizada ao se comparar a região sul e sudeste, as quais não passaram pela urbanização tal qual as capitais da região norte, seja pelo processo de que se deu “tardamente”, seja pelas ferramentas a serem utilizadas, ou mesmo pelas características fisiográficas locais, vegetação, relevo, hidrografia.

Autores como Goudie (1990), Guerra (2010) e Paschoal *et al* (2015) apontam que durante o processo de urbanização, há a apropriação do espaço “natural” tão intensa que muitas vezes suas características “originais” se perdem, dando lugar a uma segunda natureza, ou uma natureza humanizada.

2.2 Geomorfologia antropogênica – paisagens feitas à mão

As transformações do relevo pela ação humana vem sendo cada vez mais estudadas, devido ao avanço tecnológico que o sistema socioeconômico promoveu, que por sua vez, gerou transformações graduais e intensas (em diferentes escalas e extensões espaciais) nos elementos dos sistemas físico-ambientais, em especial, as que são mais diretamente influenciadas pelas atividades humanas, como a cobertura vegetal e pedológica, as formas do relevo e a rede hidrográfica (PASCHOAL *et al.*, 2015), tendo como consequência o dito meio técnico-científico-informacional.

Desde o advento da Revolução Industrial e da consequente (r)evolução tecnológica na apropriação do espaço, que vem se dando de forma cada vez mais intensa e feroz, a ponto que autores começaram a observar as mudanças da paisagem realizadas pela ação humana e como estas estão cada vez mais intensas e maiores espacialmente, ainda no século XIX.

Sobre isso, Nir (1983) descreve que os primeiros trabalhos a incorporar as mudanças foram de George Perkins Marsh (1864) e de Robert Lionel Sherlock (1922), sendo considerados os precursores ao analisar a mudança da paisagem pelo viés do homem como agente. Gouveia (2008) mostra que as obras basilares para este novo ramo da geomorfologia e da geologia foram

"*Man and Nature*" ou "*Physical Geograpy as modified by human action*" de Marsh (1864) e "*Man as geological agent*" de Sherlock (1922).

Os primeiros estudos e pesquisas nesta área vêm analisar a mudança da paisagem no Reino Unido pelo processo de mineração, cujo objetivo era entender as novas formas de relevo deixadas por este processo, considerando suas causas e suas consequências para o resto do ambiente.

No século XX, o expoente desse ramo foi Dov Nir com seu livro "*Man, a geomorphological agent: an introduction to Antropic Geomorphology*", de 1983, que faz desde a revisão das principais referências sobre o tema, ao uso e aplicação desta em vários ambientes, que podem ser agrupados em: área rural, área urbana e área de mineração.

Isso ocorre devido à própria evolução dos meios de transformação da paisagem, que antes tinha como objeto de estudo os resultados de minerações ou as mudanças que ocorriam nos sítios urbanos, no século XXI, houve mudança de configuração, uma vez que as feições criadas pelo homem ganharam novas proporções, a exemplo disso, pode-se citar as ilhas artificiais de Dubai, ilhas criadas inteiramente pela ação humana.

A humanidade/sociedade ou seres humanos, como os agentes geológicos e geomorfológicos são responsáveis por uma maior quantidade de sedimentos e movimentação de rochas do que a soma de todos os processos naturais (HENSELOWSKY *et al.*, 2021).

Com o passar dos anos, a própria nomenclatura ganhou nova roupagem, ora sendo chamada de antropogeomorfologia, de geomorfologia antropogênica ou de geomorfologia tecnogênica. A conceituação também foi sendo alterada, evoluindo e avançou em diversas direções, seja no aspecto teórico-conceitual com trabalhos de Goudie (1990; 2013), Rodrigues (1999), Szabó (2010), Kerényi (2010), Paschoal *et al* (2015) e outros, quanto na sua aplicação com Urban (2002), Gouveia (2008), Lóczy e Süto (2011), Luz (2017), Dias e Cunha (2018) e outros.

Indo de uma geomorfologia que indicava suas considerações do homem como agente de alteração do relevo (NIR, 1983), a classificação das formas de relevo geradas, seus impactos *on site* e *off site* (SZABÓ, 2010; LÓCZY; SÜTO, 2011), ou a ideia de que há a necessidade "do desenvolvimento de abordagens teóricas que conectem o fator humano ou próprios humanos" (URBAN, 2002), como a análise do agente "sociedade" por outros vieses, até mesmo considerando-se aspectos culturais.

No quadro 1, estão sintetizadas as definições de Geomorfologia Antropogênica de forma a melhor observar suas diferenças e semelhanças.

Quadro 1: Síntese das principais definições de Geomorfologia Antropogênica.

Conceitos de Geomorfologia Antropogênica	
Autor	Conceito
Dov Nir (1983)*	A atividade de um único ser humano não pode alterar muito a paisagem, entretanto, o homem não age sozinho, mas como parte de uma sociedade. Logo, a Geomorfologia Antropogênica depende de aspectos sociais, demográficos, econômicos e iconográficos da humanidade.
Andrew Goudie (1990)*	A Antropogeomorfologia é o estudo do papel do homem na criação de formas de relevo e modificando a operação dos processos geomorfológicos como intemperismo, erosão, transporte e deposição.
Andrew Goudie (2013)*	Não obstante, um aspecto crucial da Antropogeomorfologia é o aspecto das modificações indiretas e inadvertidas dos processos e formas.
Cleide Rodrigues (1999)	Consiste nas considerações das ações humanas, especificamente geomorfológicas, na investigação de padrões de ação humana significativos para a morfodinâmica, na investigação histórica das intervenções humanas (tendo em vista sua cumulatividade), no uso de escalas espaço-temporais suplementares (o raciocínio geográfico multiescalar, diríamos) e da cartografia geomorfológica de detalhe, bem como da consideração dos conceitos de limiares, magnitude e frequência e da análise integrada de sistemas naturais.
Michael Urban (2002)*	A intensão da Antropogeomorfologia não é providenciar uma nova forma de ver o impacto humano “no” ambiente; mais que isso, a proposta tem como base oferecer meio de examinar a influência humana “dentro” do ambiente biofísico.
József Szabó (2010)*	Descrição de toda variedade de formas de relevo, que são extremamente diversas em origem e propósito, criadas pela ação da sociedade humana. Nessa interpretação, a ação humana se estabeleceu como parte da dinâmica geomorfológica como um de seus agentes. Uma vez que, a pesquisa sobre a ação geomorfológica dos rios e seus produtos é chamada de “geomorfologia fluvial”, uma definição análoga pode ser aplicada a “Geomorfologia Antropogênica” também.
Dénes Lóczy e László Sütö (2011)*	O termo “Antropogeomorfologia” foi criado para denotar as investigações das formas de relevo criadas pelo homem e as modificações de processos naturais (biofísicos), em especial, pelas mudanças derivadas do uso e ocupação.
Alex Peloggia (2011)	A ação morfogenética humana – a criação do relevo “tecnogênicos*” – pode se dar de forma tanto direta quanto indireta, e que o homem é um fator tanto de erosão como de deposição, sendo que sua ação, amplamente disseminada pelo planeta, mas não característica de climas particulares, pode aumentar ou diminuir a intensidade das manifestações naturais, como ravinamentos ou inundações.
Cleide Rodrigues (2015)	É a leitura da evolução morfológica da paisagem ao longo de processos históricos (por meio da geomorfologia), a Geografia permite identificar processos e agentes sociais importantes da produção do espaço, além de parâmetros e indicadores para dimensionar a magnitude das mudanças.

*Traduções feita para a tese.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018

Assim a Geomorfologia Antropogênica começou a se consolidar como um ramo da Geomorfologia (FIGURA 1), destacando-se das demais áreas e subáreas por ter como foco de estudo o homem como agente, independentemente de onde haja. E com base nas primeiras discussões de Nir (1983) esse ramo pode se subdividir em dois, o primeiro sendo a Geomorfologia Urbana e o outro, como contrapartida, a Geomorfologia Rural.

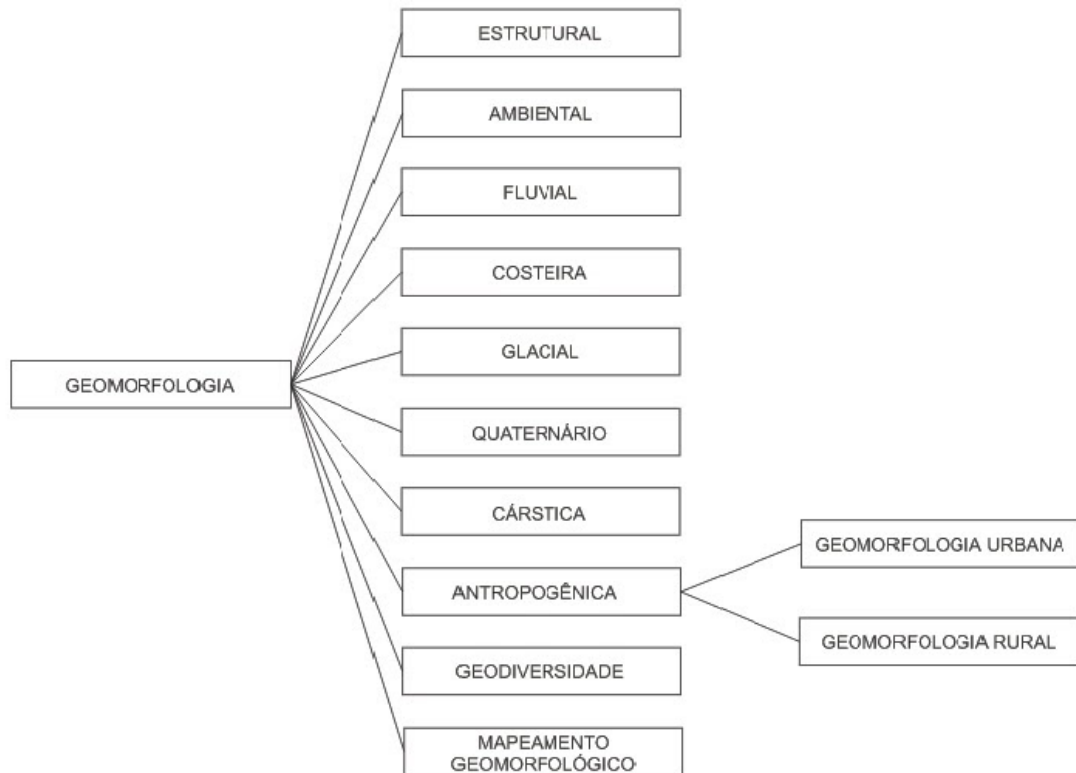


Figura 1: Organograma dos principais ramos da ciência Geomorfológica, e as subdivisões da Geomorfologia Antropogênica. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020

Salar (2017), indica que a **Geomorfologia Urbana** é um tópico importante que estuda a influência da geomorfologia no crescimento e expansão urbana. Visto que mostra a interação entre uma parte da natureza e as atividades humanas, além de examinar as restrições e potencialidades geomorfológicas do/no desenvolvimento urbano.

Essas transformações não estão restritas aos ambientes com as maiores alterações, como os ambientes urbanos. Há de se destacar as mudanças ocorridas ao longo de toda história da humanidade nos espaços agrícolas. Assim, insere como um desdobramento da Geomorfologia Antropogênica, a **Geomorfologia Rural**. Essa, difere-se em sua maior parte da Geomorfologia Urbana, principalmente pela magnitude e velocidade dos eventos de transformação, em escalas espaciais menores e em um tempo maior, a exemplo disso, há a criação de furos, canais artificiais na região amazônica (STERNBERG, 1998) ou ainda o uso de plantas para fixação mais rápida de sedimentos a fim de formar ilhas com mais rapidez (LOUZADA, 2020).

Considerar-se-á que as transformações nesse ambiente, podem ser até mais impactantes que aquelas observadas no ambiente urbano, como construção de barragens, abertura de estradas, desmatamento, abertura ou alargamento de canais, mecanização da lavoura etc. Assim, não se pretende fazer aqui uma discussão extensa a respeito da Geomorfologia Rural.

Desta forma, a construção de uma barragem, por exemplo, não envolve somente a mudança na paisagem, mas, de forma mais direta, afeta os processos hidrológicos que mesmo fora do ambiente aquoso, tende a provocar alterações na geodinâmica superficial, uma vez que o nível de base local foi alterado, interferindo, portanto, nos processos de infiltração, escoamento superficial e conseqüentemente nos processos de erosão.

Nessa mesma linha, o desmatamento para ampliação da lavoura, afeta enormemente a superfície do solo, uma vez que a vegetação original foi substituída por outra, mudando também os mecanismos envolvidos nos processos geodinâmicos superficiais da relação solo e chuva. Assim como, a simples abertura de estradas pode expor parte do solo, através dos taludes, que dependendo das condições naturais podem vir a sofrer com movimentos de massa e erosão.

Até o momento a discussão é sobre as mudanças nas formas de relevo, tendo a sociedade como agente de alteração, algo reiterado pelos autores acima. Contudo, o fator antrópico também apresenta outras interferências na dinâmica morfogenética, por meio da aceleração de processo já existente como a intensificação de processos erosivos (FROTA FILHO, 2016) e de assoreamento de canais (GOUDIE, 1990; RODRIGUES, 1999).

Assim considerando o que advoga Simon (2010) que a “geomorfologia não trata especificamente das formas do relevo, mas dentre outras coisas, busca entender como atuam os processos e mecanismos envolvidos num dado lugar”. E a visão que Urban (2002;2018) tem sobre a Geomorfologia Antropogênica como um “novo” ramo da ciência geomorfológica que está estendendo seus limites por incluir explicitamente o ser humano e suas atividades como agentes do geomorfológicos. Walsh *et al.* (2005) ao trabalhar com impactos nos rios urbanos sinaliza que para se trabalhar nessa área é imperativo uma visão que associe as relações sociais e naturais.

Assim, o conceito norteador de Geomorfologia Antropogênica desenvolvido para a tese é: estudo que não apenas classifica as formas de relevo, mas considera como foram criadas e/ou alteradas por agentes humanos/sociais, abrangendo aspectos comportamentais, culturais, socioeconômicos e das políticas públicas como ações no sistema natural. Observando suas influências nos processos morfodinâmicos naturais (biofísicos) e antropogênicos, pensando a modelado como um ente que sofre alterações cumulativas no tempo, ou seja, não esquecendo processos históricos.

A exemplo dos aspectos mencionados:

- Comportamentais e culturais: trata do despejo de resíduos sólidos em voçorocas e formação de depósitos tecnogênicos/antropogênicos, ou ainda lixo no leito de rios que intensifique o processo de formação de barras sedimentares.

- Socioeconômicos: O desmatamento, a alteração e a ocupação de encostas para moradias, devido à pressão da expansão urbana.
- Das políticas públicas: englobam desde o zoneamento de áreas para a ocupação e como esse processo ocorre até a contenção de voçorocas, por meio de criação de patamares.

2.2.1 Geomorfologia urbana – a sociedade como agente modificador

Com base nos autores supracitados, em especial Nir (1983) e Salar (2017), além do trabalho de Cooke *et al* (1982) intitulado *Urban geomorphology in dry lands*, faz-se necessário tratar dos processos, dinâmicas e agentes que alteram o relevo no ambiente urbano, que por estes autores é denominada de Geomorfologia Urbana.

Como dito anteriormente, um dos ambientes no qual as formas antropogênicas mais ocorrem, é no sítio urbano, e nesse sentido, usa-se o argumento de Gouveia (2008) no qual a autora aponta “a urbanização enquanto fenômeno geomorfológico”. Visto que as mudanças mais drásticas, pelo menos em termos espaciais, se dão pela urbanização², que, hoje, se configura como um dos processos mais emblemáticos e contraditórios do mundo contemporâneo, pois é fruto da relação entre diversos agentes sociais (CASTRO, 2016) e de suas ações na dimensão biofísica e natural.

Goudie (1990), Guerra (2011), Paschoal *et al.* (2015) e Urban (2018), apontam que é durante a urbanização, que há um processo de apropriação do espaço “natural” tão intenso que muitas vezes suas características se perdem, dando lugar a uma segunda natureza, ou uma natureza humanizada. Assim, as ações e atividades sociais são consideradas agentes geomorfológicos (URBAN, 2018), logo a urbanização é um agente de transformação de relevo.

Visto que a sociedade é como um novo agente transformador da paisagem, os processos que antes ocorriam em escala de tempo geológico, passam a advir num intervalo mais curto de tempo, na escala humana (FRECHIANI; MARCHIORO, 2017).

Quanto a isso, Reynard *et al.* (2017) explanam que pelo menos 0,5% de toda área do planeta é urbanizada, e que em 2015 apontavam que 54%³ da população mundial residia em áreas urbanas, e que o, processo de construção das infraestruturas necessárias, têm alto impactos nas formas de relevo (REYNARD *et al.*, 2017).

² Entende-se que por urbanização estão diversas atividades, desde desmatamento, terraplanagem, remoção e transporte de solo, aterro de canais entre outros, conforme Rodrigues (1999), Gouveia (2008).

³ Percentual mundial, contudo, é maior para países desenvolvidos, e seguido por países em desenvolvimento, como o Brasil, segundo REYNARD *et al.*, (2017).

A partir dessa perspectiva, que emergem novos ramos na ciência geográfica, que tentam abordar a questão da relação relevo-homem e relevo-sociedade, dentre eles destacam-se a Antropogeomorfologia cuja análise compreende o ser humano e a sociedade como agentes modificadores tão importantes quanto os agentes exógenos naturais como água e vento (NIR, 1983). Há também a etnogeomorfologia, que abrange a questão de conhecimentos tradicionais e da cultura como um modificador do relevo, e inclui toda a teia de relações ambientais da paisagem.

A análise do espaço urbano pelo viés do seu substrato, no caso a Geomorfologia, e pensando para além das limitações físicas que o relevo possa apresentar, mas também das múltiplas relações entre a Geomorfologia Urbana com a sociedade, considerando aspectos ambientais, sociais, políticos, econômicos e culturais.

Os ambientes alterados pela ação humana começaram a ser motivo de preocupação, a partir do momento que se observou a queda da qualidade de vida urbana, que segundo Jorge (2011) foi caracterizado pela apreensão frente às alterações de ciclos naturais e suas consequências, a exemplo disso, pode-se exemplificar a poluição e assoreamento de rios, redução das áreas habitáveis devido às feições erosivas.

Estas alterações nas formas originais refletem também a influência do uso da técnica, para a construção da geografia que as cidades apresentam atualmente. É por isso, que entender o processo de transformação nos fornece informações importantes para o entendimento do espaço urbano, não só das dinâmicas naturais ou sociais, mas observando o sistema como um todo e as múltiplas relações das partes que o compõem.

No Brasil, o estudo pela perspectiva da Geomorfologia Urbana ainda é incipiente, mas alguns estudiosos precursores devem ser salientados Aziz Ab'Saber com "O Sítio Urbano de São Paulo", de 1958 e a "Teoria do clima urbano", de Carlos Augusto Monteiro, de 1976, ambos os casos extrapolam a mera associação entre geografia humana e geografia física e suas respectivas abordagens, desenvolvendo novas percepções sobre o tema do "urbano", um pelo viés climatológico e outro pelo geomorfológico.

A nível internacional a discussão já está mais avançada, indo em duas vertentes de pensamento, uma que visa a Geomorfologia Urbana como "a compreensão dos ambientes geomorfológicos e da história da paisagem, para o desenvolvimento urbano, podendo ajudar a identificar e selecionar locais adequados para a construção" (SALAR, 2017) e outra, que para Urban (2002) é ligada a verdadeira integração do processo sociocultural e do processo biofísico, em uma estrutura conceitual única, não a disposição de duas abordagens separadas aglutinadas (FIGURA 2).

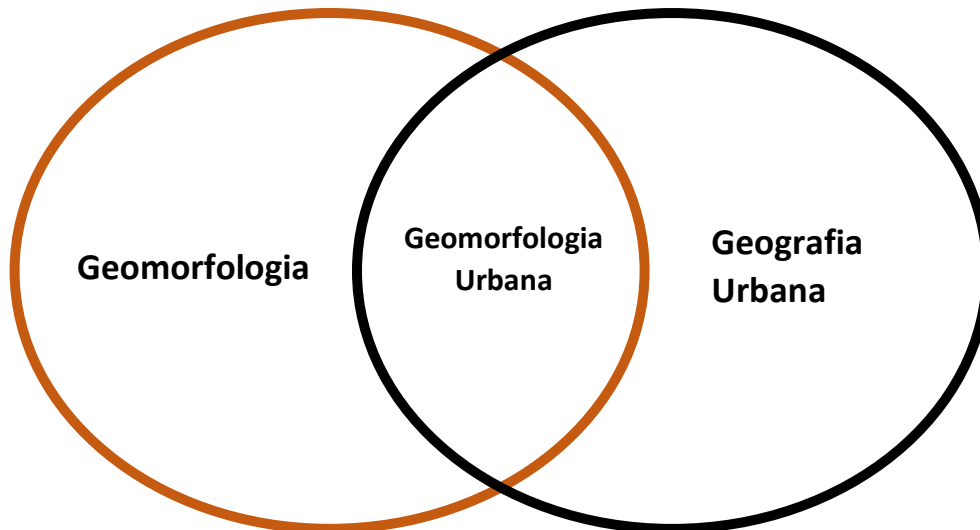


Figura 2: Esquema de intersecção entre a sobreposição do escopo da Geomorfologia e da Geografia Urbana. Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Há diversas maneiras cuja sociedade pode alterar o modelado do relevo, por esta perspectiva Pica *et al.* (2017) indicam a necessidade do monitoramento das alterações realizadas em perímetro urbano, pois devido à grande quantidade alterações realizadas na geomorfologia original há uma gama de modificações antrópicas a serem classificadas, dentre estas estão as retificações de canais fluviais, retificação de vertentes e aterros, duas práticas comuns no processo de expansão do sítio urbano das cidades.

Quanto a isso, autores como Dias e Cunha (2018) e Paschoal *et al.* (2015) mostram que o primeiro impacto na geomorfologia local, corresponde às mudanças diretas no canal fluvial, através das obras de engenharia, seja pela retificação dos canais que geram impactos, durante chuvas mais intensas e período de cheia dos rios. Outro ponto reside na cimentação do leito dos rios, que aumentam suas velocidades, aumentando potencial erosivo. O mesmo pode ser dito para as encostas que foram retificadas ou terraplanadas, ou mesmo áreas aterradas.

Nesse sentido, Urban (2002) advoga que “alterar os parâmetros ambientais do sistema fluvial não o torna menos um sistema fluvial”, da mesma forma que qualquer forma geomorfológica, mesmo feita pela ação humana, não deixa de ser uma forma da natureza, ou acaba por se tornar uma natureza humanizada.

Até este ponto, falou-se apenas das mudanças geomorfológica diretamente desencadeadas pela ação humana, mas como apontam Goudie (1990), Rodrigues (1999) e Peggia (2011) a atividade humana apresenta interferências diretas e indiretas no relevo, o primeiro caso foi exemplificado acima, pela retificação de canais e encostas. As interferências

indiretas têm-se, como exemplo a intensificação de processos naturais como, desencadeamento e aceleração de processo erosivos, de movimentos gravitacionais de massa e assoreamentos de canais fluviais.

A partir do entendimento das interferências diretas e indiretas nas formas de relevo que a abordagem da Geomorfologia Urbana se destaca, pois ao mesmo tempo que é preciso observar os locais que devem ser ocupados e preservados considerando suas respectivas fragilidades, essa abordagem também considera os impactos das mudanças, ocorridas pelo processo de urbanização, assim considerando como a população pode ser afetada.

Para Jorge (2011) a Geomorfologia Urbana deve:

- 1) conhecer a topografia, na qual a cidade está inserida;
- 2) entender os processos geomorfológicos atuais modificados pela urbanização;
- 3) prever as futuras mudanças no relevo que possam ocorrer.

E isso se traduz nos estudos de Cooke *et al* (1982) que usam a Geomorfologia Urbana para desenvolver pesquisas relacionadas à melhor forma de “apropriar-se” do relevo em ambientes áridos. De Salar (2017) abordou qual a melhor forma de desenvolver o planejamento do distrito, de Darbandikhan, no Iraque, com base em diversos parâmetros geomorfológicos. E de Urban (2002) que analisou os impactos da retificação de canais fluviais, em Illinois, sendo estes impactos ambientais, sociais e mesmo culturais.

Goudie (1990), Guerra (2011), Paschoal *et al.* (2015), Rodrigues, (2015) e Urban (2018), apontam que durante a urbanização, há um processo de apropriação do espaço “natural” tão intenso que muitas vezes suas características se perdem, dando lugar a uma segunda natureza, ou uma natureza humanizada. Quanto a isso, as ações e atividades sociais são consideradas agentes geomorfológicos (URBAN, 2018), logo a urbanização é um agente de transformação de relevo.

Assim, entende-se como Geomorfologia Urbana – um ramo da Geomorfologia Antropogênica – a área de estudo, cujo agente principal é a Urbanização, assim considerando os aspectos socioeconômicos, culturais e das políticas públicas. Como um produtor e modificador das formas de relevo, além de intensificar as dinâmicas naturais.

2.2.2 O relevo antropogênico – uma breve discussão sobre a importância da sua taxonomia

Com o avanço da Geomorfologia Antropogênica (e suas ramificações, como Geomorfologia Urbana), que foca no homem como agente alterador e formador do relevo, há

necessidade de classificar e entender estas novas formas e seus processos de formação. Além de caracterizar como estas novas formas de relevo são susceptíveis aos processos erosivos.

Como afirmam Costa *et al.* (2020), tal metodologia de classificação por táxons compartimentada e divide o relevo desde as “unidades morfoestruturais (1º táxon) até formas de menor escala e com influência antrópica (6º táxon)”. Ao se considerar a escala de atuação humana, autores como Ross (1992) delimitam que as alterações do relevo com base nas ações antrópicas estão no táxon 5 e mais recorrentes no 6, respectivamente “Tipos de formas – Encostas retilíneas, côncavas e convexas” e “Formas lineares do relevo – Feições erosivas lineares como ravina e voçorocas”.

Pois, o táxon 4 é caracterizado por ser “Conjuntos de formas semelhantes”, e nesta perspectiva o agente humano não conseguiria alterar e desenvolver formas semelhantes em uma mesma região, como uma bacia, por exemplo. Contudo, as atividades humanas vêm tomando maiores proporções, e suas alterações no relevo tem sido mais intensa, criando cada vez mais formas antropogênicas e semelhantes entre si, ainda que em um espaço contido, como o sítio urbano, como exemplificado em estudos de Gouveia (2008) e Paschoal *et al.* (2015).

Contudo, classificar as formas de relevo antropogênicas em ambiente urbano e seus processos de formação é essencial, tanto para questão entendimento de suas dinâmicas e evolução, quanto para o planejamento territorial/urbano, em especial, ao se considerar as suas suscetibilidades à erosão e desenvolvimento de áreas de risco.

O mesmo se justifica pelo fato de ainda existirem poucos trabalhos que abordem essa temática, sendo de grande importância, em especial, em um país, onde as transformações de relevo antropogênico ocorrem de forma desordenada, causando impactos *onsite* e *offsite* (GUERRA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Isto pois, a Geomorfologia não trata exclusivamente das formas do relevo em si, e sim busca entender como atuam os processos e mecanismos envolvidos num dado lugar, além das suas mudanças (SIMON, 2010) e processos evolutivos. Além de se considerar que as formas de relevo, sejam naturais ou antropogênicas, passam pelas dinâmicas naturais como a erosão, nesse sentido, entender a forma e seu processo de evolução, auxilia no entendimento de como mitigar as consequências de feições como voçorocas, por exemplo.

2.3 Erosão e conservação dos solos

A erosão dos solos é um processo que ocorre naturalmente que visa preservar a estabilidade entre as diversas partes do ecossistema (ABDULKAREEM *et al.*, 2021) e do geossistema.

Popp (2007) traz um conceito mais simples e genérico no qual a erosão “envolve todos os processos de desagregação e remoção do material rochoso”, o qual o solo está englobado. O que não é algo errado, apenas simplifica o processo erosivo e o restringe apenas ao material rochoso, não contemplando o solo. Além disso, autores como Kirkby (1982), Singer e Munns (2002) e Bertoni e Lombardi Neto (2010) indicam que a erosão além de remover e transportar as partículas do solo, faz o mesmo com seus nutrientes.

A partir do pressuposto que o processo erosivo é um agente natural da evolução do relevo, faz-se necessário articular um debate das ciências da terra e áreas afins que são os conceitos de erosão natural e erosão acelerada, em especial, na linha desta pesquisa.

Pois a erosão natural, também conhecida como erosão geológica é aquela realizada normalmente pelos diversos agentes erosivos que haja intervenção humana (GUERRA; GUERRA, 2010). Ocorre na escala de tempo geológica, mais lenta e apresenta equilíbrio entre processos morfogenéticos e pedogenéticos, para tanto Singer e Munns (2002) completam ao dizer que a erosão é algo natural, impossível e inviável de ser contida.

Enquanto a erosão acelerada, também chamada de erosão humana ou antrópica, segundo Guerra e Guerra (2010) é o aceleração da erosão nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo⁴, motivado por desmatamento, cortes de taludes entre outros, sendo sempre associada à ação do homem. Poesen (2017) vai além e conceitua o processo erosivo antropogênico definido como atividades (não maliciosas ou maliciosas) induzidas pelo homem que destacam e transportam diretamente o material do solo, e aqui concentra-se na importância da erosão, nivelamento da terra, escavação do solo corte e aterro e escavação de valas.

A modificação do relevo promove a criação, indução, modificação ou intensificação do comportamento dos processos geomorfológicos (FUJIMOTO *et al.*, 2010). Em ambos os casos, a ação humana intensifica um processo natural. Ambos autores trazem as alterações da camada pedológica e geomorfológica como um fator acelerador. Quanto a isto, a modificação do relevo promove a criação, indução, modificação ou intensificação dos processos geomorfológicos (FUJIMOTO *et al.*, 2008).

⁴ Assim como de toda e qualquer camada/cobertura pedológica exposta, ou seja, horizonte do solo em evidência.

Atualmente esse debate sobre erosão geológica e acelerada perdeu foco, uma vez que a maior parte dos estudos focados em erosão e feições erosivas é em ambientes com algum nível de alteração antrópica, como os trabalhos de Goudie (1990; 2013), Oliveira (1999), Poesen *et al.* (2003), Valentin *et al.* (2005), Fujimoto *et al.* (2010), Drew (2010), Guerra *et al.* (2017), Abdulkareem *et al.* (2021) entre outros autores.

Isto é corroborado pela ideia de que a degradação do solo está muito mais generalizada, e mesmo a agricultura mais cuidadosamente empreendida fará aumentar as perdas de cinco a cinquenta vezes, em relação às terras com cobertura vegetal natural (DREW, 2010), sendo isso intensificado quando se fala de cidades e nas fases iniciais do processo de urbanização, (TUCCI; COLLISCHON, 2000; RODRIGUES; GOUVEIA 2013; 2017). Como indicam Rossato e Botelho (2002) a erosão *in situ* reduz devido à alta impermeabilização e baixa presença de solo exposto.

Para Hassett e Babwart (1992) a erosão não apenas reduz a capacidade agrícola do solo, mas contribui para a poluição do ar e da água. Sendo estimado que apenas 1% de todo material erodido chega aos oceanos, a maior parte fica retido em rios, riachos e lagos, não apenas os enche de sedimentos, mas de nutrientes também, o que é um exemplo de impacto *off site*.

Nesse sentido a erosão é entendida por Guerra e Guerra (2010) como a destruição das saliências e reentrâncias do relevo, como um conjunto de ações modeladoras da paisagem, e consequente formação de novas formas como alcovas, marmitas, ravinas, voçorocas, dentre outras. E só acontece quando as forças de destacamento e transporte são superiores à de resistência apresentada pelo solo (THORNES, 1984). Nesse processo há trabalho mecânico de desagregação do material e, concomitantemente, o processo de intemperismo.

Para Kirkby (1982) quando a água advinda da precipitação não consegue infiltrar no solo, ela flui pela superfície em maior velocidade e com capacidade de carregar matérias por meio da energia cinética acumulada. Poesen (2017) complementa que erosão natural pode se dar pela “água da chuva: ou seja, erosão em lençol, ravina e voçoroca, bem como erosão subterrânea (tubulação e túneis)”.

Assim, é preciso entender o processo erosivo, sua dinâmica e fases. Conforme Selby (1982) e Singer e Munns (2002) afirmam que o processo erosivo se inicia quando as gotas de água colidem com o solo desnudo, assim as partículas de solos vão sendo desagregadas para serem transportadas. O primeiro impacto erosivo dos solos é propiciado pela ação mecânica das gotas de chuva, que promove o arrancamento e deslocamento das partículas terrosas (CHISTOFOLETTI, 1980).

Horton (1945) detalha essa dinâmica ao dizer que há de duas a três fases distintas que fazem parte do processo erosivo.

- 1) destacamento do material;
- 2) remoção ou transporte do material erodido, por meio do fluxo em lençol (*sheet flow*);
- 3) deposição do material transportado.

Horton (1945) ainda indica que se não houver a deposição do material, este será carregado até o canal mais próximo.

Entretanto, Hassett e Babwart (1992) afirmam que a erosão dos solos envolve apenas duas fases, sendo a primeira o destaque das partículas de solo do estado natural de agregação, que é seguida pelo transporte. Esta última, que segundo os referidos autores é o movimento das partículas do solo de uma posição espacial para outra. E essa visão em duas etapas é corroborada por autores como Christofolletti (1980), Suguio (2003), Vieira (2008) e Guerra e Guerra (2010), assim a deposição se caracteriza como outro processo.

A cobertura vegetal é o principal fator para a redução do potencial erosivo da chuva, Kirkby (1982) explica que solos com altos níveis de argila tendem a ser mais resistentes aos processos erosivos, além da presença de matéria orgânica e nutrientes, como o nitrogênio, se mostram igualmente importantes nesse sentido. Além disso há a estabilidade dos agregados e nível de compactação do solo (SINGER; MUNNS, 2002) são peças importantes no processo.

A intensificação dos processos erosivos em uma mesma área pode gerar feições, pequenas fissuras que podem virar ravinas e/ou voçorocas ((KIRKBY,1982; SELBY, 1982; SINGER; MUNNS, 2002; GUERRA; GUERRA; 2010).). Isto pois, ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio (dinâmico) entre energia disponível e eficiência do sistema que dissipa esta mesma energia, que é resultante de desequilíbrios naturais desencadeados pelo homem. (OLIVEIRA, 1999).

2.3.1 Ravinas

As Ravinas são as primeiras manifestações claras da ação erosiva, sendo um “rasgo” no solo (GUERRA; GUERRA, 2010), podendo ser resultado de um duto (*piping*) que colapsou abrindo ranhuras no solo (SELBY, 1982), como por fluxo superficial (*runoff*) concentrado que foi se aprofundando, Fleury (1983) destaca que esse fluxo é turbulento. Schumm (1956) caracteriza essa feição como canais rasos erodidos na vertente, sua profundidade está

relacionada diretamente à rapidez da degradação, mas podem desempenhar variados papéis no ciclo erosivo, podendo transformar-se em voçorocas.

Quando a água na subsuperfície do solo está em partes mais profundas do horizonte pode criar dutos, e esses quando rompidos podem virar Ravinas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; GUERRA; GUERRA, 2010).

As Ravinas são pequenos canais com dimensões de poucos centímetros a algumas dezenas de centímetros, sendo normalmente descontínuas, e podendo ocorrer em encostas a partir de 2° a 3° declividade (SELBY, 1982). Possuem formato em **V**, e profundidade inferior a 150 cm (GUERRA; GUERRA, 2010).

Guerra (2008) aponta que as Ravinas podem ser características efêmeras nas encostas, formadas em um único evento pluviométrico intenso, e obliteradas por uma nova tempestade. Coadunando com Schumm (1956) e Selby (1982) que afirmam que as incisões aparecem e desaparecem com facilidade no relevo, sendo criadas em uma estação e soterradas por sedimentos em outra, além da possibilidade de obliteração vinculada ao maquinário agrícola.

Isto pois, as Ravinas podem se desenvolver se a intensidade da precipitação for forte o suficiente para cisalhar, excederá a tensão do solo, causando o rompimento da cobertura do solo e o canal será formado (SELBY, 1982). Logo, se um evento chuvoso tiver uma precipitação que supere a capacidade de infiltração do solo, e inicie o processo de escoamento, uma Ravina pode surgir. Hassett e Babwart (1992) completam que as Ravinas são resultados da erosão pluvial severa, mas são de fácil obliteração por equipamentos e maquinário agrícola.

Além das características morfológicas supracitadas, formato em **V**, e profundidade de poucos centímetros a 1,5m, uma característica intrínseca às ravinas é sua forma de crescimento. Pois, crescem de montante a jusante da vertente, seguindo a força da gravidade e a tendência dos fluxos superficiais (concentrados).

Para Selby (1982), as ravinas e mesmo as voçorocas podem se desenvolver por uma forma diferente do fluxo superficial concentrado, pois quando a água na subsuperfície do solo está em zonas mais profundas do horizonte do perfil pedológico pode criar dutos. Se a intensidade da precipitação for forte o suficiente para cisalhar, excederá a tensão do solo, causando o rompimento da cobertura do solo e o canal será formado.

2.3.2 Voçorocas

As Voçorocas são caracterizadas por escavações no solo, sedimentos e/ou rochas decompostas, podendo ser derivadas de processos de ravinamento intensificado por fluxos superficiais (concentrados e/ou difusos), conforme Ab'Saber (1968).

Oliveira (1999) liga os desenvolvimentos de incisões de grande magnitude, como as voçorocas, a desequilíbrios no meio natural, tais como desmatamento ou queimadas, e os associam a eventos de chuvas intensas. Selby (1982) explica que há duas causas principais: 1) há um aumento na quantidade de água escoada, ou; 2) não alteração na quantidade de água escoada, e sim no número de fluxos superficiais devido à falta de vegetação.

Isto pois, quando a velocidade do fluxo superficial (concentrado e/ou difuso) atinge 30 cm/s e o fluxo se torna turbilhonar, o que aumenta o potencial cinético e de carreamento das partículas do solo, transportando maior carga de material que o fluxo laminar (*sheet erosion*), conforme Evans (1984). O autor ainda reitera que essa é uma velocidade média, e tem-se que considerar outros fatores, desde a cobertura da vegetação, uso do solo, suas características físico-químicas.

Voçorocas podem se formar em qualquer diferença de declividade associadas às áreas de pouca cobertura vegetal, com locais com substrato menos coeso ou inconsolidado, sendo mais comuns em depósitos aluviais ou coluviais, areais parcialmente inconsolidados e detritos de movimentos de massa (SELBY, 1982). Ou seja, um fator determinante para o aparecimento de Voçorocas é o uso, manejo e ocupação do solo.

De acordo com Selby (1983), Guerra (2008), Marçal e Guerra (2009), Guerra e Guerra (2010) suas características morfológicas são paredes laterais íngremes e fundo chato, com fluxos de água em seu interior durante eventos de precipitação. Nesse sentido, os referidos autores, assim como Fleury (1983) indicam que a presença ou não de afloramento do lençol freático é facultativo, pois estas incisões podem se aprofundar bastante.

Além da forma e tamanho que diferenciam Ravinas e Voçorocas, Ab'Saber (1968) explica que as Voçorocas se desenvolvem por um processo de retroalimentação. Ou seja, seu crescimento ocorre pela queda de suas paredes, associadas a processos erosivos internos de remodelação.

Para Thornes (1984), esse processo de retroalimentação se assemelha ao de pequenos canais fluviais. Exceto pela deposição de materiais oriundos das vertentes, pois podem ser caracterizadas como parte do sistema hidrográfico da bacia, já que durante o período de cheia do rio, dependendo de sua posição, a incisão pode ser inundada. O que reitera a visão de Selby (1983) sobre as Voçorocas serem consideradas cabeceiras (*head of natural drainage system*).

Augustin e Aranha (2006) assinalam que as Voçorocas possuem um processo de retroalimentação, cuja intensidade do processo erosivo induz movimentos gravitacionais de massa, resultantes da ausência de coesão do material entre a parede e o fundo da Voçoroca, em especial, por meio das alcovas de regressão.

No que se refere ao crescimento das voçorocas, Oliveira (1989) aponta que elas apresentam um crescimento à remontante (*headward erosion*), em direção ao topo da vertente. Já que crescem por meio da escavação das partes inferiores das paredes e colapso das partes superiores.

Poesen *et al.* (2003), Voçoroca é definida como uma feição erosiva, a qual a água do escoamento se acumula frequentemente em canais estreitos e, em curtos períodos, remove o solo dessa calha para profundidades consideráveis (0,5 m a 25/30 m). Logo, as Voçorocas são canais erosivos largos e profundos demais para serem removidos com equipamentos agrícolas.

Bertoni e Lombardi Neto (2010) apontam que quando a voçoroca se desenvolve sobre um solo que apresenta horizontes com materiais consistentes, a incisão tende a possuir paredes verticais e estará sujeita a desmoronamentos por movimento de massa, caso o solo seja mais friável. Algo que Vieira (2008) conceitua como formato em U, devido às paredes verticais e fundo plano, com profundidade superior a 1,5 m.

O fundo plano ou chato das Voçorocas apresenta três possíveis explicações, dependendo do contexto geológico-geomorfológico e pedológico:

- 1) Resultado do encontro da parte inferior da Voçoroca com um plano mais resistente e de difícil erosão (VIEIRA, 2008; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).
- 2) Os sedimentos que não são carregados na mesma velocidade ficam retidos no fundo da Voçoroca e são aplainados (AUGUSTIN; ARANHA, 2006).
- 3) Os sedimentos coluviais e porosos, com baixa coesão à ação das águas pluviais e do lençol, intensificam o processo erosivo, fazendo com que a Voçoroca tenha um formato de “U” (CONCIANI, 2008 *apud* RUBIRA *et al.*, 2016).

Oliveira (1989) classifica as Voçorocas em Conectada, Desconectada e Integrada e faz referência a sua posição como canal da rede de drenagem, já que esta feição pode ser considerada como um canal de primeira ordem, uma vez que, uma Voçoroca também, ocasionalmente, pode ser uma cabeceira de drenagem (SELBY, 1983).

Conectada: é quando a Voçoroca se encontra ligada ao sistema de drenagem, e cresce à remontante, ou seja, em direção à cabeceira. Oliveira (1989) aponta que este tipo de incisão ocorre devido à erosão por escoamento (*seepage erosion*). O fato de se encontrarem na base da

vertente, em locais de deposição coluvial e aluvial, facilita o processo erosivo, em função da baixa coesão destes materiais.

Heede (1975) *apud* Thornes (1984) assinala que este tipo de Voçoroca se inicia próximo a cursos d'água. Além disso, Selby (1982) aponta que estas podem se desenvolver a partir de cicatrizes de movimentos de massa. Esse tipo de Voçoroca cresce devido ao desenvolvimento e crescimento de Ravinas (*rills*) e esse tipo de incisão normalmente cresce em largura e profundidade à medida que o fluxo superficial aumenta. Em períodos chuvosos, podem apresentar um fluxo de água que se conecta do fundo da Voçoroca à rede de drenagem (SELBY, 1982).

Desconectada: originam-se principalmente devido ao fluxo hortoniano, no qual o fluxo tem papel importante na escavação, entalhamento e alargamento da incisão (OLIVEIRA, 1989). De acordo com Selby (1982), esse tipo de incisão tende a se desenvolver no meio da encosta. Ocorrendo em pontos da vertente em que não haja vegetação. Assim, o fluxo começa a formar uma cabeceira que avança no sentido do topo (THORNES, 1984), deixando um “leque” de sedimentos (*debris fan*) na parte inferior da vertente (SELBY, 1982).

Integrada: é a junção das Voçorocas Conectada e Desconectada que se conectam em um ponto intermediário da encosta, onde a declividade for menos abrupta em direção a jusante. Este tipo de Voçoroca é considerado como o estágio evolutivo final da feição erosiva, significando que este tipo de Voçoroca implica na presença dos outros dois tipos na mesma encosta, e essa característica está mais associada às vertentes com altitudes mais elevadas e declividade acentuada (OLIVEIRA, 1989).

Vieira (2008) desenvolveu um modelo para definir as voçorocas por formas, um modelo diferente do clássico de Bigarella e Mazuchowski (1985) baseado em modelos de padrão de drenagem hidrográfica.

O modelo de Vieira (2008) considera as formas mais frequentes de Voçorocas existentes, na cidade de Manaus, em que cada forma é resultante de processos específicos e de condições ambientais características de seu local de ocorrência, tais como: geologia, geomorfologia (forma e declividade), solo, cobertura vegetal e sistema de drenagem superficial ou subsuperficial. Assim, as formas destacadas pelo referido autor são: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular.

a) Linear: forma ligada à existência de uma zona principal de convergência de drenagem, influenciada ainda pelas características de resistência e/ou ocorrência de controle estrutural evidente.

b) Bifurcada: apresenta duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados.

c) Ramificada: caracterizada pela ocorrência de vários canais de drenagem superficiais, fluxos superficiais difusos ocorrendo geralmente em solo do tipo Espodossolo ou em outros solos em que a declividade do terreno é relativamente baixa.

d) Irregular: ligada à existência de um ou mais fluxos superficiais concentrados, caracterizando-se como transitória entre outras formas existentes.

e) Retangular: a forma final da expansão das outras formas descritas próximas à estabilização natural.

Outra classificação de Voçorocas é a de Fleury (1983), na qual ele as divide em:

a) **Voçorocas mortas** ou **inativas** são aquelas em que cessaram, ou foram reduzidas ao mínimo, as causas da sua origem ou desenvolvimento, quer naturalmente, quer por controle, através de métodos de combate. Este tipo pode ser reativado, se o que bloqueou a ação da água for liberado. Hassett e Babwart (1992) completam que este tipo de Voçoroca tem presença de vegetação em suas bordas;

b) **Voçoroca viva** ou **ativa**, em que se acha em franca progressão, com afundamento e alargamento da incisão, ou com um desses processos em progressão, isoladamente;

c) **Voçorocas isoladas**, quando se tem várias Voçorocas separadas por largas faixas de terreno;

d) **Voçorocas múltiplas**, quando se tem Voçorocas muito próximas entre si, de forma radial ou paralela;

e) **Voçoroca seca**, quando a erosão não atinge o lençol freático, portanto não tem água permanente no fundo da incisão;

f) **Voçoroca úmida**, quando a erosão atinge o lençol freático mantendo um fluxo d'água permanente no fundo da incisão, ou um excesso de umidade permanente.

Essa classificação considera Voçoroca toda e qualquer incisão erosiva superior a 1,5m, ou seja, podendo ou não ter afloramento do lençol freático. Ela também traz em si a questão das Voçorocas isoladas e múltiplas que podem ser um sintoma de dinâmica. Sendo caracterizada como isolada pode significar que algum agente externo causou o desequilíbrio. E, se múltiplas que a áreas podem apresentar algum tipo de susceptibilidade.

As Voçorocas também podem ser classificadas por tamanho, Vieira e Albuquerque (2004) qualificam-nas de acordo com seu volume erodido, visualizando a intensidade da erosão e avaliando as taxas de deposições realizadas que ocasionam assoreamento em cursos da rede drenagem. O tamanho é dividido em 5 (cinco) classes, desde “muito pequena” com volume erodido de até 999 m³, a “muito grande” com mais de 40 000 m³ erodidos.

2.3.3 Feições de Retrabalhamento

Ao conceituar as formas de crescimento das Voçorocas, seja em termos de largura, comprimento e profundidade, Selby (1983) indica que podem ocorrer por colapso das paredes, erosão em dutos (*piping*) e fluxo superficial. Assim, autores como Oliveira (1999) e Guerra e Guerra (2010) falando sobre feições que podem ocorrer no interior de Voçorocas.

As de Feições de Retrabalhamento (OLIVEIRA, 1999; VIEIRA, 2008), trânsito ou mesmo transitórias são as formas residuais de processos erosivos que ocorrem nas bordas ou no interior das Voçorocas. São diferenciadas, pois possuem mecanismos específicos, e formas resultantes próprias., e são um indicador que esta se encontra ativa/ viva, além de serem processos que colaboram no seu crescimento.

Dentre elas destacam-se Alcovas de Regressão; Marmitas; Costelas; Pedestais/*demoiselles*; Escamas / Escamamento; e, Filme de Silte.

- Alcovas de Regressão

São feições que ocorrem no interior das voçorocas, e se dão pela ausência de coesão entre o fundo e a parede da voçoroca, possibilita o desenvolvimento de um processo erosivo secundário, por meio de fluxos que escorrem pelas paredes da voçoroca e escoamento superficial, assim como por exfiltração do lençol freático (AUGUSTIN; ARANHA, 2006). E à medida que estas feições se desenvolvem, podem propiciar o colapso das camadas superiores devido à perda de sustentação (VIEIRA, 2008).

- Marmitas

São cavidades resultantes do fluxo turbilhonar que ocorre entre desníveis topográficos abruptos (GUERRA; GUERRA, 2010). No interior das marmitas podem ser encontradas areias, estas que são responsáveis pela intensificação da erosão desenvolvida em vários pontos da voçoroca: no fundo, com sua superfície plana e nos degraus existentes no interior da feição erosiva.

- Costelas

De acordo com Oliveira (1999) e Vieira (2008), estas feições se desenvolvem em materiais de origem diversa (aluvial, coluvial, eólico *etc.*), indicando variações em

profundidade, da resistência ao cisalhamento dos materiais de cobertura superficial. Estas feições são produzidas pela ação de filetes subverticais ou por exfiltração.

- Pedestais/ *demoiselles*

Conforme Oliveira (1999) e Vieira (2008), os Pedestais se formam quando um material mais resistente, quer seja um grânulo, seixo ou mesmo uma folha ou tapa de garrafa, dificulta a ação erosiva do salpicamento. Dessa forma, o fluxo superficial difuso erode o solo ao redor, modelando a estrutura e, em alguns casos, é possível observar o desenvolvimento de crostas ferruginosas, na parte superior. Vieira (2008) aponta que se formam tanto no interior de feições erosivas, como em qualquer solo sem vegetação, sendo um indicativo de processos erosivos via escoamento superficial (concentrado, difuso ou em lençol).

- Escamas / escamamento

Esta é uma feição formada pelo acúmulo de material fino (areia fina ou muito fina) sobre uma superfície, em geral mais resistente (OLIVEIRA, 1999). Pode ser encontrada tanto nas paredes como na base da incisão. Há uma variante do escamamento, denominada de filme de silte, que apresenta as mesmas características, mas sendo composta por silte, em vez de areias.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

O recorte espacial da pesquisa é a bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, localizada na Zona Leste, cidade de Manaus (AM) (**FIGURA 3**). Esta bacia apresenta uma área de 24,93 km², composta parcial ou integralmente por oito bairros, sendo eles: Distrito Industrial II, Puraquequara, Colônia Antônio Aleixo, Mauzinho, São José do Operário, Tancredo Neves, Jorge Teixeira e Zumbi.

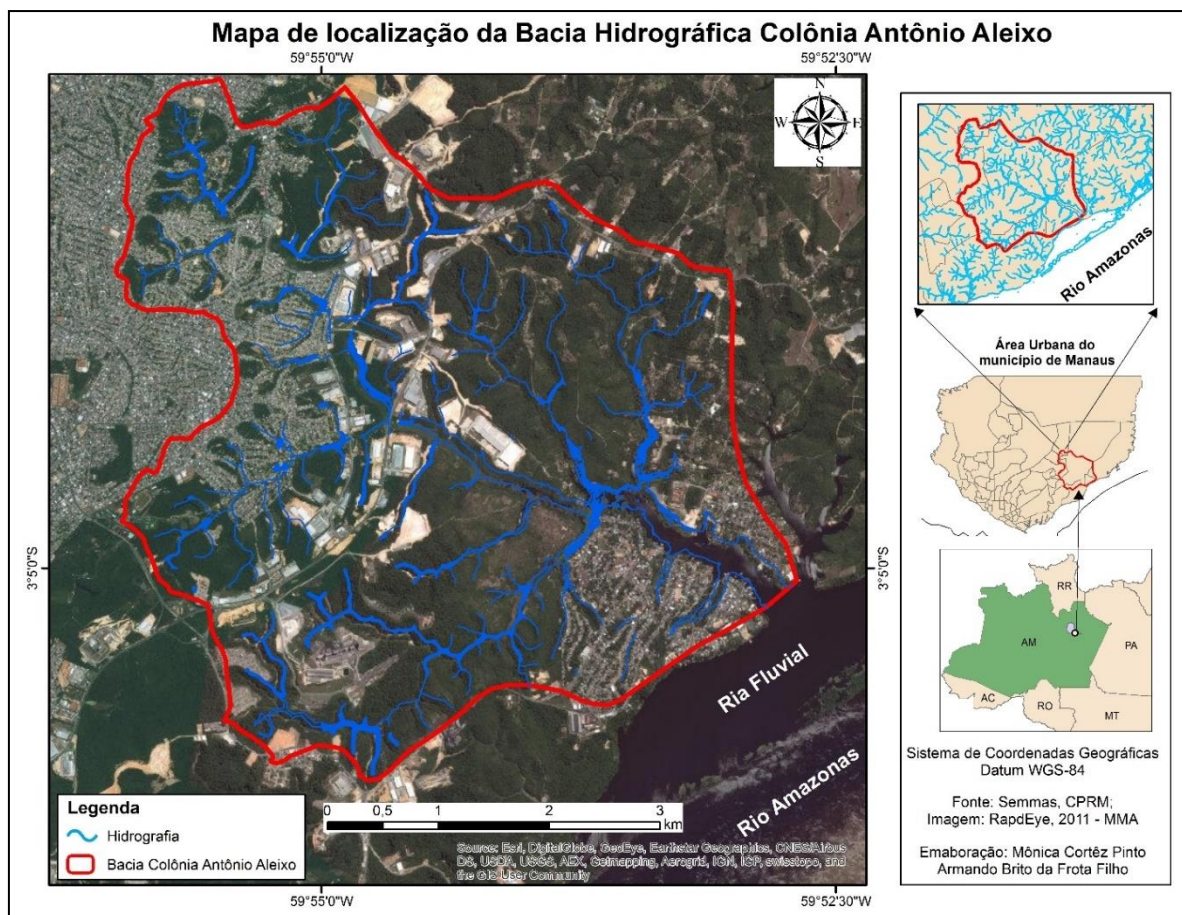


Figura 3: Mapa de localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo.

Fonte: SEMMAS. 2015. Elaboração: Mônica Cortêz Pinto.

Org. Armando Brito da Frota Filho

3.2 Geologia

Em termos de macroestrutura geológica, a área de estudo está inserida no contexto do Cráton Amazônico, o qual está contido majoritariamente no Brasil, entre o Escudo Cristalino

das Guianas ao norte, o Escudo Cristalino do Brasil Central ao sudeste e a oeste pela Cordilheira dos Andes, dobramento moderno, conforme Carvalho (2012).

Sobre este cráton estão às coberturas sedimentares Fanerozóicas (FIGURA 4) que se estendem ao norte para os países vizinhos (Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa) (COUTINHO, 2008). Assim, sobre esta assenta-se a grande bacia Sedimentar Amazônica, composta pelas bacias sedimentares do Amazonas, Solimões, Acre e Alto Tapajós (CARVALHO, 2012).

A espessura do pacote sedimentar da bacia do Amazonas alcança mais de 5.000 metros, na região mais profunda, e diminui gradualmente à medida que se aproxima das bordas, onde é nula (CARVALHO, 2012).

Conforme Moreira (1991), a bacia do Amazonas apresenta estratigrafia composta por sequências predominantemente marinhas (Paleozóico) e Continental (Mesozóico e Cenozóico). Consiste em fase de transgressão marinha, na qual houve processo de deposição, na região no período Ordoviciano, com regressão no Siluriano, retornando no Devoniano. Retira-se no Carbonífero Inferior e volta, pela última vez, no fim do Carbonífero e princípio do Permiano (MOREIRA, 1991).

No Cretáceo, a região da Bacia Sedimentar do Amazonas sofreu abatimento que proporcionou um processo de sedimentação clástica sistemas fluviais, lacustres ou deltaicos de ambiente continental (IGREJA, 2000; QUEIROZ, 2020). Que constituiu a Formação Alter do Chão, na qual a cidade de Manaus está assentada. Kistler (1954) *apud* Queiroz (2020) indica que a formação Alter de Chão é composta de arenitos avermelhados, argilitos (incluindo caulins), conglomerados e brechas intraformacionais.

Esta formação, cuja predominância, de exposições de rochas cretáceas é segundo Igreja e Franzinelli (2011), Carvalho (2012), Carvalho e Tomasella (2014), representada por arenitos intercalados com siltitos e argilitos e subordinadamente conglomerados.

No que concerne aos arenitos, Igreja e Frazinelli (2011) indicam que são “finos a grossos, vermelhos a variegados, argilosos, mal selecionados, friáveis, ocasionalmente silicificados”. Costa *et al.* (1978) *apud* Vieira (2008) completam ao afirmar que arenitos apresentam granulação que varia de fina à grossa e sua coloração alterna entre branca, rósea, vermelha e cinza-claro, podendo ter concreções lateríticas.

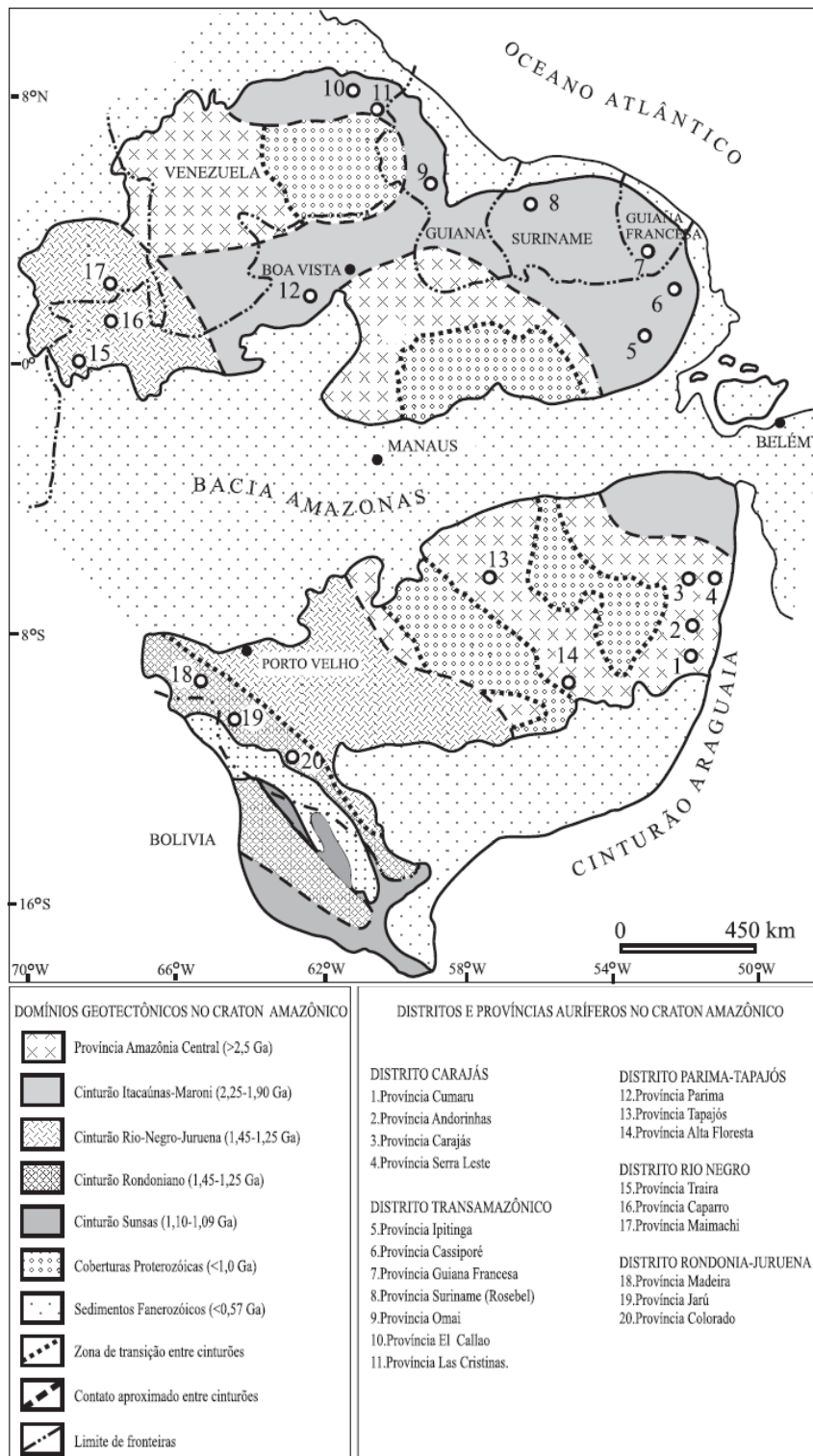


Figura 4: Domínios geotectônicos com a distribuição dos principais distritos e províncias auríferas no Craton Amazônico. Fonte modificado de Cordani e Brito Neves (1982) por Coutinho (2008).

Em Manaus, predomina o Arenito Manaus, descrito como horizontalmente sobreposto com coloração esbranquiçada podendo ser observado em afloramentos nas margens do Rio

Negro, em cursos d'água no interior da cidade (igarapés) e mesmo em voçorocas (VIEIRA, 2008).

Sobre a Formação Alter do Chão, Igreja (2000) aponta que:

Um dos aspectos característicos quando dos estudos dos afloramentos da Sequência Alter do Chão é a frequência da coloração vermelha de variada tonalidade dos arenitos e argilitos, que se interdigitam, entrecortam-se ou mosqueiam-se com nódulos, níveis, camadas, juntas e fraturas amarelo-esbranquiçadas, podendo atingir ao branco leitoso. (IGREJA, 2000, p 123)

A neotectônica deriva do Mioceno (24 Ma.), é responsável pela geomorfologia da área representada pelos lineamentos e controle estrutural de grandes rios até feições erosivas como voçorocas, apresentando falhas normais predominantemente no sentido ENE-WSW⁵ e E-W. Silva (2005) mapeou falhas normais NE-SW, na cidade de Manaus, correspondente às orientações das principais falhas da região amazônica, que controlam a direção de canais fluviais assim como de feições erosivas do tipo voçoroca que podem influenciar na direção de crescimento da incisão (ABREU *et al.*, 2012).

Na Figura 5 e 6, a primeira referente a uma voçoroca e a segunda a um local que passou por processo de terraplanagem, pode ser percebido descontinuidades dos horizontes latossólicos com o Horizonte B ao lado do Horizonte C, com controle estrutural com direção NW–SE (ABREU *et al.*, 2012).



Figura 5: Voçoroca com controle estrutural na Bacia Colônia Antônio Aleixo. Falha Normal NW-SE. Fonte: Abreu *et al.*, 2012.

⁵ Leste-nordeste – Oeste-sudoeste

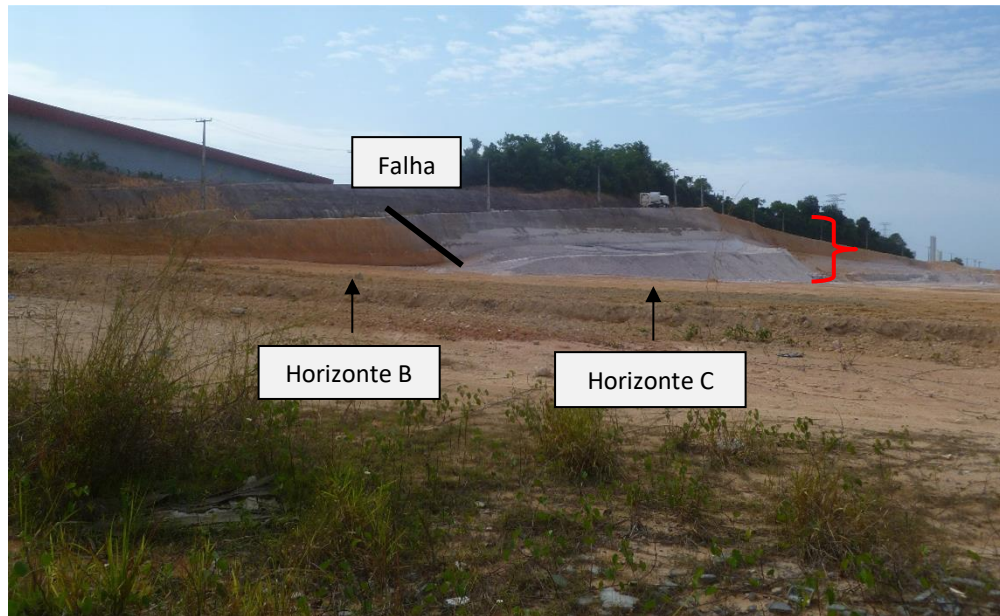


Figura 6: Área de terraplanagem no bairro Distrito Industrial II, BH Colônia Antônio Aleixo. Chave vermelha representa o volume de solo removido. Presença de falhamento. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015

3.3 Geomorfologia

A região da cidade de Manaus está na Unidade Morfoestrutural do Planalto Dissecado do Rio Trombetas/Rio Negro (IGREJA, 2000; SILVA, 2005). Apresenta estruturas com fácil descrição nas colinas e interflúvios tabulares, fornece exposições neotectônicas nas escarpas fluviais, cachoeiras e nos cortes íngremes das ruas e avenidas, da Cidade de Manaus.

É a maior unidade geomorfológica da região (FIGURA 6), representada por um sistema de colinas pequenas e médias tabuliformes, pertencentes a uma vasta seção de um tabuleiro de sedimentos terciários, que variam com cotas entre 50 a 100 metros, com vales fechados, estreitos e encaixados e zonas de interflúvios estreitas e alongadas (SILVA, 2005; VIEIRA, 2008). No que concerne às orientações das drenagens principais, que se encontram condicionadas, principalmente pela estruturação são NW-SE e NE-SW.

Estas separam amplas bacias de drenagens assimétricas, além de drenagens subdendríticas, desenvolvidas sobre a Formação Alter do Chão (AB'SABER, 1953; SILVA, 2005; VIEIRA, 2008).

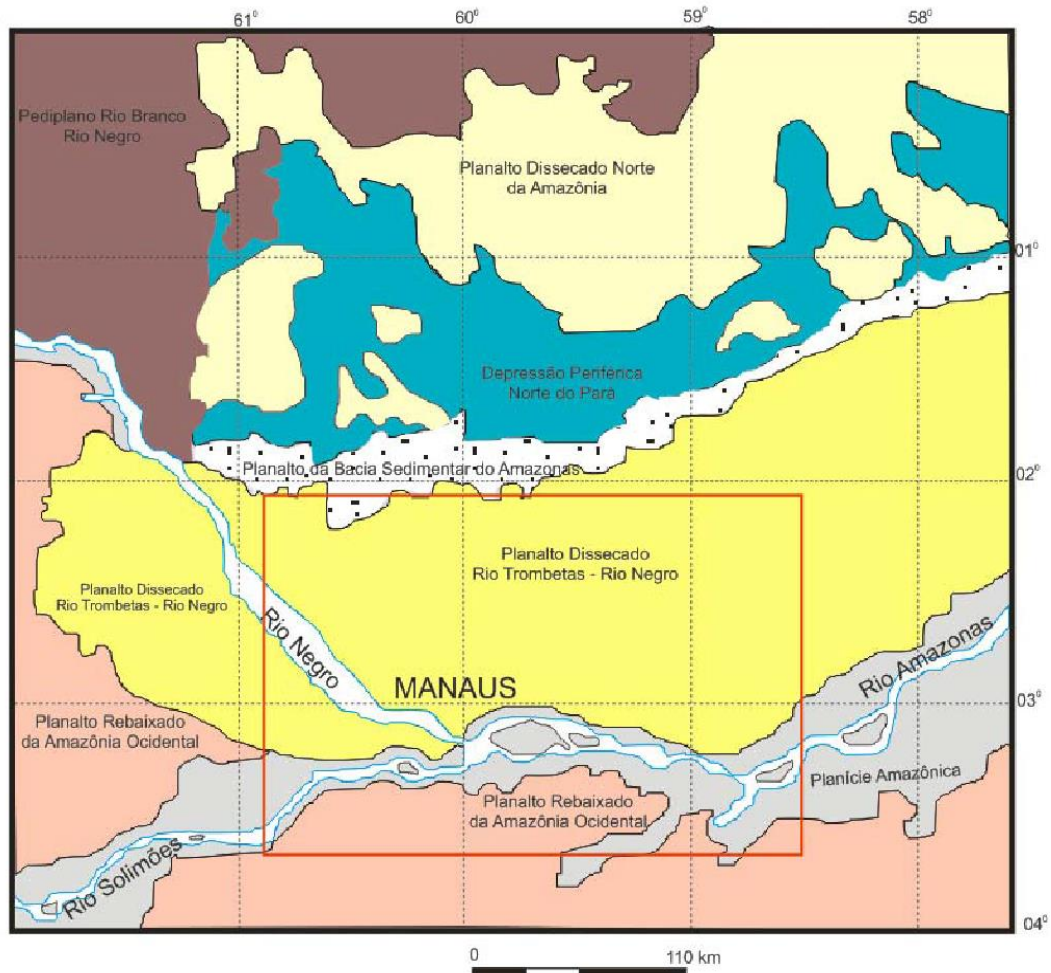


Figura 7: Mapa das unidades morfoestruturais, em destaque a área de Manaus.

Fonte: Lima (2010)

Sarges *et al.* (2011) dividem a região em três intervalos altimétricos: o primeiro entre as altimetrias de 25 e 65 m estão os vales e planícies de tributários dos rios Negro e Amazonas, constituído por terraços fluviais e terraços erosivos. O segundo entre 65 e 90 m está às vertentes dos interflúvios tabulares estreitos e com elevado grau de entalhamento, característica recorrente na Zona Leste de Manaus. E entre 90 e 115 m é representativo dos divisores de drenagens ramificados e alongados na direção NW-SE e N-S, no que se refere ao leste e norte da cidade.

A região de Manaus e suas adjacências, segundo Sarges *et al.* (2011) passam por uma dinâmica, na qual os processos de denudação, desencadeiam uma progressiva mudança da forma de relevo inicial. Isto ocorre, via o gradual rebaixamento de topos dos interflúvios e suavização da inclinação das vertentes por processos de erosão e movimentos de massa, assim, resultando na elaboração do escalonamento topográfico, num processo de dissecação regional da área.

A Zona Leste, da cidade de Manaus, se destaca pela existência de platôs que terminam em encostas de grande declividade, curtas e com predominância da forma convexa (VIEIRA, 2008), uma ruptura da declividade das vertentes e fundos de vales planos (LUCAS, 1989). Com exceção do ponto mais alto, localizado na Reserva Adolpho Ducke, no setor norte de Manaus, é a região com maior altimetria com 119 metros.

No nível de detalhe, a geomorfologia da área de estudo, bacia Colônia Antônio Aleixo, apresenta pouca variação altimétrica, cotas entre 17 metros no seu ponto mais baixo a 114 metros nas áreas mais altas, os interflúvios. Isto resulta em uma amplitude altimétrica de 97 metros (FIGURA 8), e cota média 57 metros, que podem ser observadas no mapa hipsométrico (FROTA FILHO, 2016).

A área de estudo tem como classe hipsométrica mais representativa, o intervalo de 40 a 50 metros, o que corresponde a 20,71% da área da bacia (TABELA 1). Em seguida, o intervalo de 50 a 60 metros com 19,51% da bacia. O intervalo com menor área foi de 24 a 30 metros, com 7,02 % localizada na região próxima à foz do canal principal da bacia (FROTA FILHO, 2016).

Tabela 1: Classes hipsométricas e seus valores em área (km²) e porcentagem (%) na Bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo

Classes Hipsométricas	Área (km ²)	Área (%)
24-30	1,75	7,02
30-40	3,33	13,36
40-50	5,16	20,71
50-60	4,86	19,51
60-70	3,45	13,84
70-80	2,51	10,06
80-90	1,97	7,91
90-100	1,89	7,59
Total	24,93	100,00

Fonte: Frota Filho, 2016

A bacia apresenta vertentes com forte declividade, o que é observado nos perfis transversais traçados no alto, médio e baixo curso da bacia (FIGURA 09, 10 e 11) e no mapa de declividade (FIGURA 13), ambos indicadores do alto nível de dissecação do relevo.

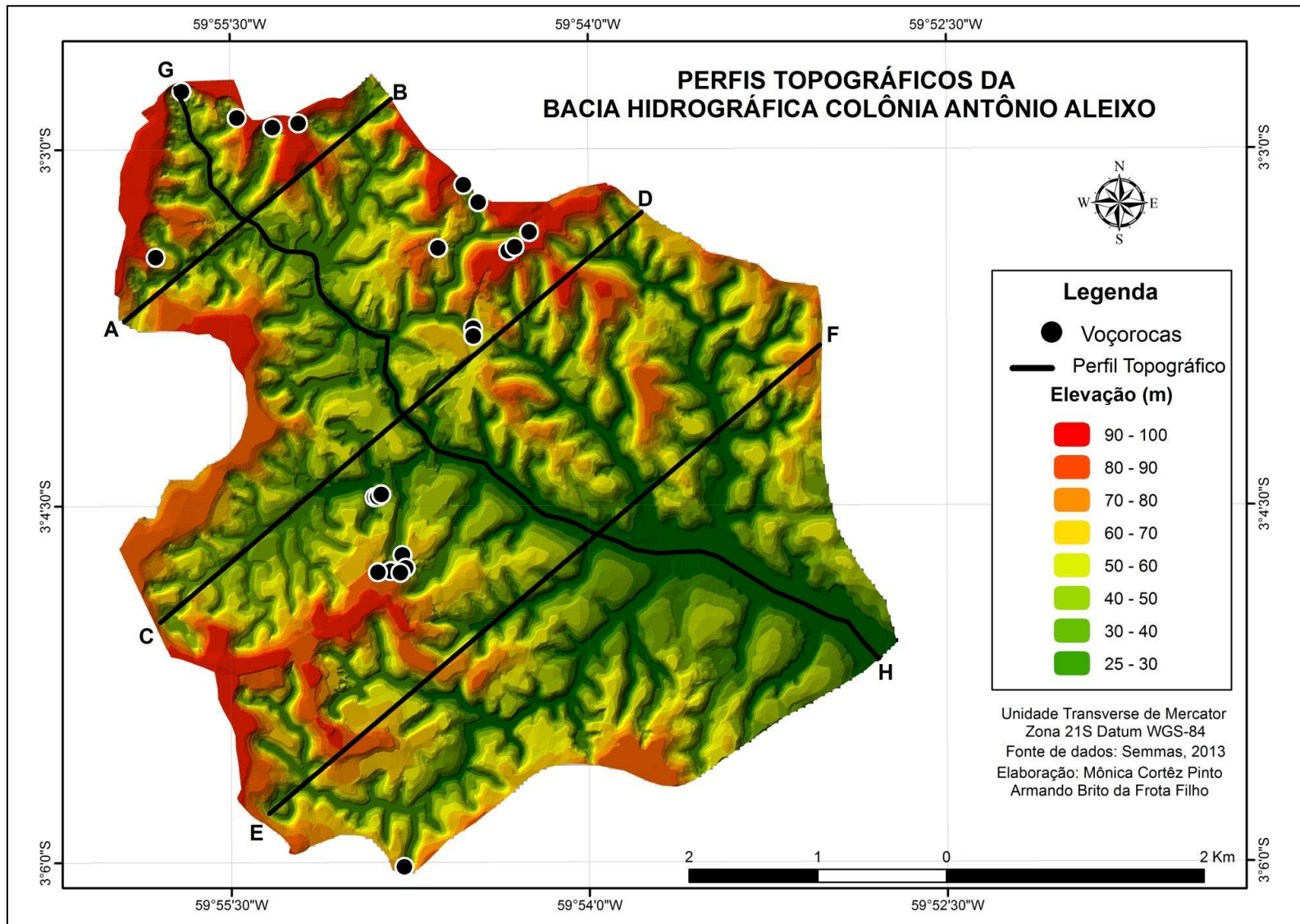


Figura 8 : Modelo Digital de Elevação com localização dos Perfis Topográficos da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

Fonte: Frota Filho, 2016.

No que se refere especificamente aos 03 perfis transversais traçados (FIGURA 9, 10 e 11): um no curso superior da bacia denominado de A-B (2,698 Km); um no curso médio denominado de C-D (4,909 Km) e outro no curso inferior da bacia denominado E-F (5,615 Km).

Nele pode se observar que o montante da bacia e os vales tendem a ser mais encaixados e com formato em “V” e que a margem direita apresenta as menores elevações e o relevo mais dissecado. A jusante o vale se alarga, alcançando quase 200 metros de largura, antes de sua foz no lago do Aleixo.

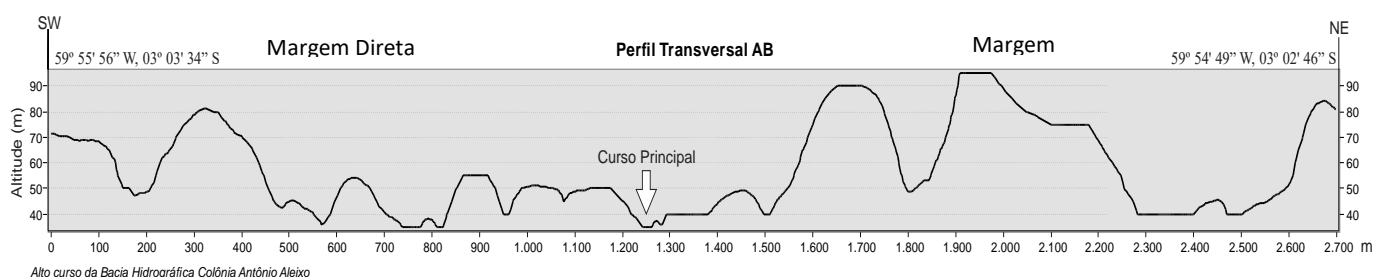


Figura 9: Perfil Transversal A-B, localizado no curso superior da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Frota Filho, 2016.

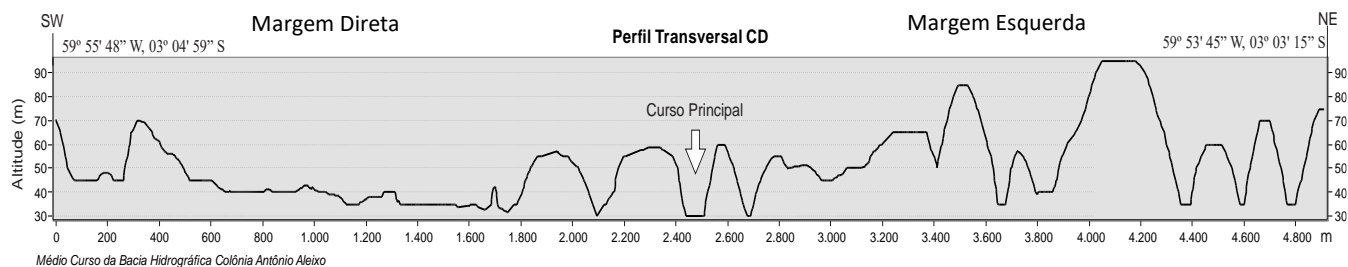


Figura 10: Perfil Transversal C-D, localizado no curso médio da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Frota Filho, 2016.

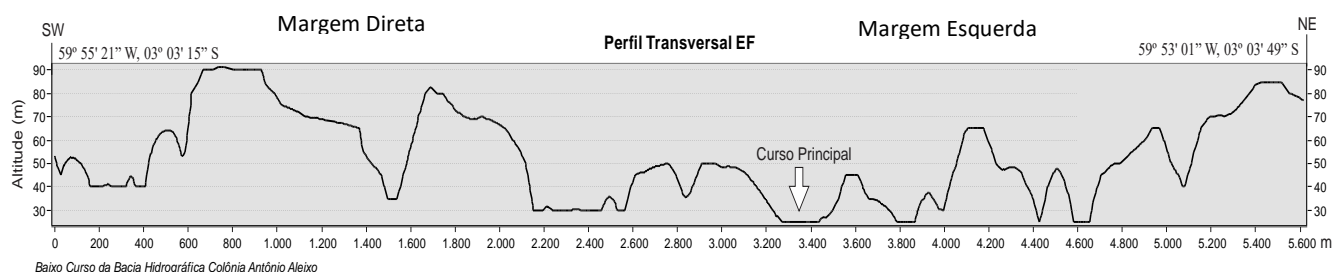


Figura 11: Perfil Transversal E-F, localizado no curso inferior da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Frota Filho, 2016.

Na bacia Colônia Antônio Aleixo, existe a predominância de encosta com forma convexa divergente, que abrange cerca de 30,13% da área da bacia e em seguida, a forma côncava convergente com 29,09% (FROTA FILHO, 2016), como apresentado na tabela 2.

De forma comparativa, o Quadro 2 mostra a disposição das vertentes e suas formas em curvatura horizontal e curvatura vertical. A forma convexa representa 42,94%, seguida pelas formas côncava com 41,29%, e as retilíneas com 15,77% das encostas da bacia. Neste sentido Vieira (2008), indica que forma convexa e declividade elevadas, na base das encostas, nesta área, são os condicionantes para maior incidência de processos erosivos e feições como voçoroca.

Tabela 2: Classes de Forma do Terreno (forma da vertente) e seus valores em área (km²) e porcentagem (%) na Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo

Número	Forma de Vertente	Área km ²	(%)
1	Convexa Divergente	7,51	30,13
2	Côncava Convergente	7,25	29,09
3	Retilínea Divergente	2,02	8,11
4	Convexa Convergente	1,98	7,95
5	Côncava Divergente	1,81	7,27
6	Retilínea Convergente	1,31	5,26
7	Côncava Planar	1,22	4,90
8	Convexa Planar	1,21	4,86
9	Retilínea Planar	0,61	2,43
Total		24,93	100

Fonte: Frota Filho, 2016.

Quadro 2: Disposição das vertentes e suas formas em curvatura horizontal e curvatura vertical e seus valores em porcentagem (%) na Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo

Forma do Terreno		Curvatura Horizontal			Total
		Convergente	Planar	Divergente	
Curvatura Vertical	Côncava	29,09 %	4,90 %	7,27 %	41,26 %
	Retilínea	5,26 %	2,43 %	8,11 %	15,8 %
	Convexa	7,95 %	4,86 %	30,13 %	42,94 %
Total		42,3 %	12,19 %	45,51 %	100 %

Fonte: Frota Filho, 2016.

A figura 12 mostra o mapa das formas de encostas da bacia Colônia Antônio Aleixo e a localização das voçorocas encontradas, na bacia, até 2016. Com base nesse critério, a distribuição das voçorocas (n=22) nas encostas da bacia se distribuíam em: 09 estão em encostas convexas divergentes; 06 em encostas convexas convergentes; 05 em encostas côncavas convergentes; 01 em encosta retilínea divergente; e 01 em encosta côncava planar (FROTA FILHO, 2016).

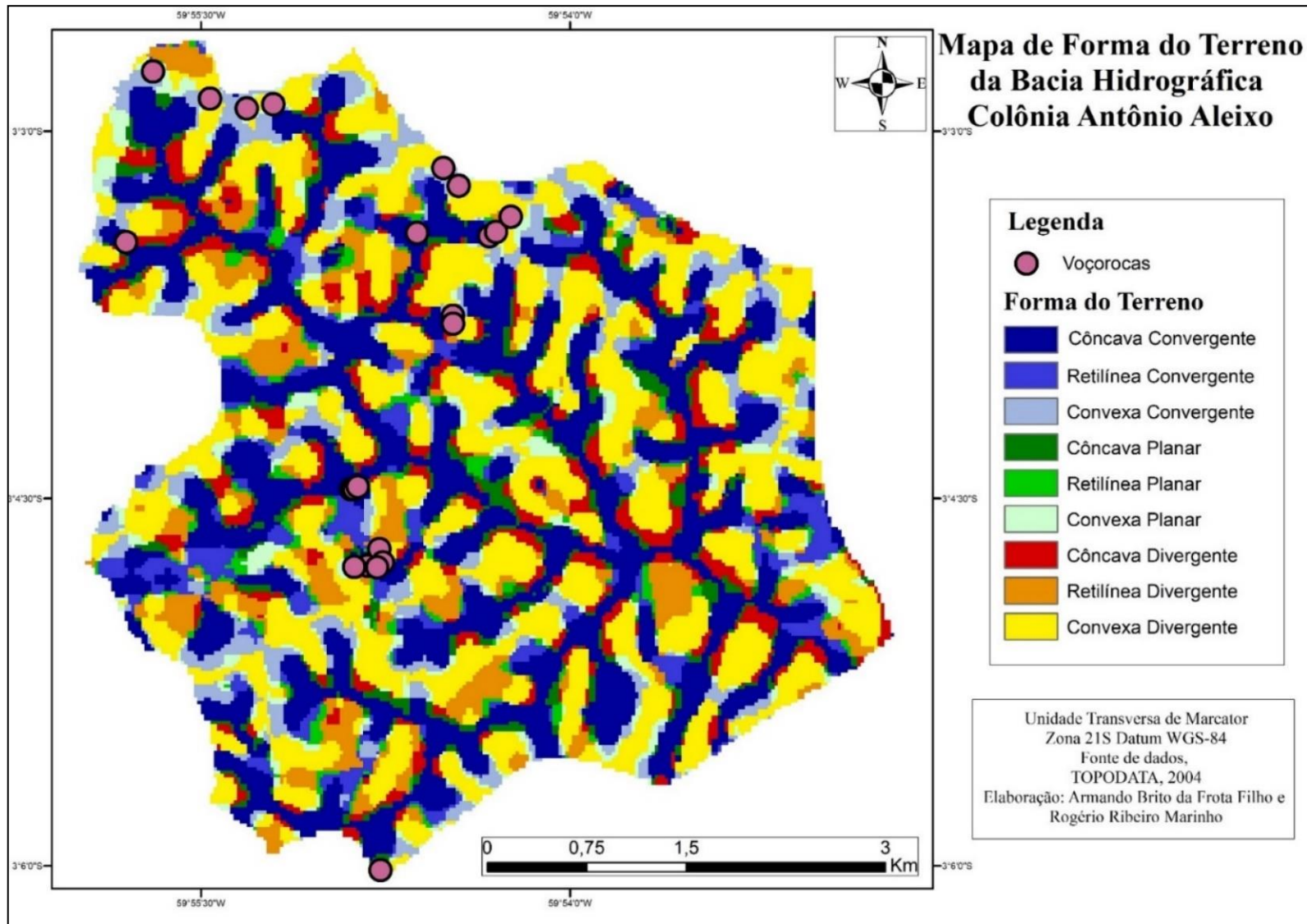


Figura 12: Mapa de Forma do Terreno e localização das voçorocas da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.
Org. Armando Brito da Frota Filho e Rogério Ribeiro Marinho, 2016.

Como definido por Vieira (2008) o platô leste de Manaus tem condicionantes que favorecem o processo erosivo, devido às encostas com grande declividade, mais curtas e com perfis longitudinais convexos, o que pode ser corroborado pelos dados de Frota Filho (2016), via figura 13 que representa a espacialização das classes de declividade e a tabela 2 explicita como se classificam as categorias do relevo com base em Sousa e Rodrigues (2012), e com suas respectivas susceptibilidades erosivas, baseado em Ramalho Filho e Beek; (1995. *apud* Sousa e Rodrigues, 2012).

Tabela 2: Classes de declividade e seus valores (km²) e (%) das áreas na bacia Colônia Antônio Aleixo

Declividade e (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Categoria de relevo	Susceptibilidade Erosiva
0-3	1,63	6,54	Plano a Suave ondulado	Não suscetível a pouco suscetível
3-8	4,12	16,54		
8-13	4,34	17,42	Ondulado	Moderada a Forte
13-20	5,55	22,25		
20-45	8,78	35,22	Forte Ondulado	Muito Forte
>45	0,51	2,03	Montanhoso a escarpado	Severa
Total	24,93	100	-	-

Fonte: Frota Filho, 2016.

À margem esquerda, a mesma que apresenta os vales mais encaixados, também, apresenta as declividades mais acentuadas, que variam de 20% a mais de 45%, correspondendo a susceptibilidade erosiva “muito forte”. Além disso, uma elevada porcentagem da bacia apresenta declividade considerada “moderada à forte” com 39,67% e “muito forte” com 35,22%, que caracteriza a bacia de forma geral como muito suscetível aos processos erosivos. Em termos de declividade e voçorocamento (TABELA 03), o intervalo entre 9 e 20%⁶ representa 39,07%, contudo a maior quantidade de voçorocas se desenvolveu no intervalo de 21 e 45%⁷, que apresenta 35,22 % da bacia.

Tabela 3: Relação da distribuição das Voçorocas e Classes de Declividade

Intervalo de Declividade	Área (%)	Quantidade de Voçorocas
0-8%	23,08	1
9-20%	39,67	6
21-45%	35,22	13
>45%	2,03	2
Total	100	22

Fonte: Frota Filho, 2016.

⁶ Equivalente ao intervalo de 5,14° a 11,85° de declividade

⁷ Equivalente ao intervalo de 11,85° a 24,22° de declividade

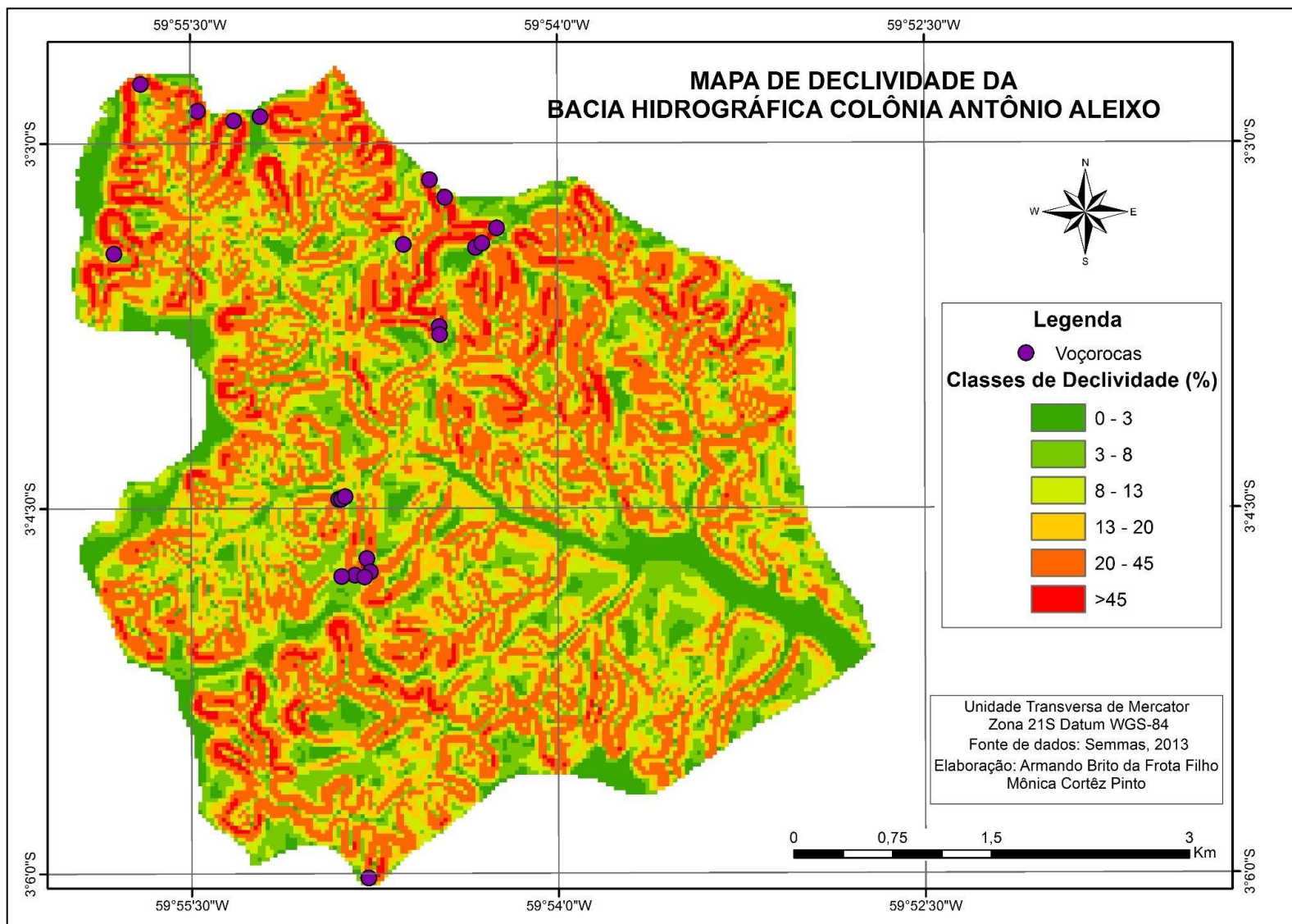


Figura 13 : Mapa de Declividade e localização das voçorocas da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.

Fonte: Frota Filho, 2016

3.4 Solos

A cidade de Manaus, conforme Lucas *et al.* (1984) possui dois polos de diferenciação pedológicas observáveis, o primeiro: Polo Argiloso caracterizado pelos Latossolos muito argilosos (70% de argila a 5 cm de profundidade, 85% a partir de 50 cm) de cor amarela a vermelho-amarela, associados à vegetação de floresta densa; e o segundo, sendo Polo Arenoso caracterizado pelos Espodossolos⁸ que apresentam horizontes de areia branca, atingindo localmente vários metros de espessura, associados às campinas e vegetações baixas e rasteiras.

Entre estes dois polos Lucas *et al.* (1984) afirmam haver um processo de evolução pedogenética, caracterizando essa zona, como a interseção de solos Argissolos⁹, também denominadas de “*sandy bleached brown loam*” (argila amarronzada com areia esbranquiçada) ou “*eluviated brown loam*” (argila marrom eluvial).

De acordo com BRASIL¹⁰ (1978) *apud* Horbe *et al.* (2003) as unidades pedológicas da área de Manaus consistem: 1) Latossolos amarelados, argilosos a argilo-arenosos; 2) Argissolos arenosos a areno-argilosos amarelados, e; 3) As areias brancas.

Os solos de Manaus são dispostos em Latossolos, localizados nos platôs e topos, e se estendem até a meia encosta, os solos de transição (Argissolos) nas vertentes (meia encosta a sua base), e nos baixios se encontram os solos ricos em areias, como o Espodossolo (LUCAS, 1989; NEU, 2005; VIEIRA, 2008), ou Neossolos quartzarênicos hidromórficos (FROTA FILHO, 2016), como representado na figura 14.

Quanto ao Latossolo, Horbe *et al.* (2003) apontam que esses se desenvolvem sobre os horizontes mosqueados, as linhas de pedra e crostas lateríticas, mais ricos em Fe e Al, e que marcam as cotas mais elevadas.

Ker (1997) afirma que Manaus possui Latossolo Amarelo muito argiloso com o segundo horizonte no qual a argila encontra-se praticamente floculada, resultado de a umidade local não permitir a coesão dos grânulos. Lucas (1989) reafirma que são solos ferralíticos profundos.

⁸ Descrito pelos autores ainda com a antiga nomenclatura de Podzóis, antes da atual classificação da EMBRAPA (2018).

⁹ Denominado pelos autores como solos Podzólicos, anterior à usada pela classificação da EMBRAPA (2006).

No entanto, o Argissolo presente na área urbana de Manaus, conforme Neu (2005) é bem drenado, de textura argilosa (argila \pm 50%). Apresenta horizonte B nodular de aproximadamente 1 m de espessura, encontrado a 1,3 m de profundidade, com cores que variam de bruno forte (7,5YR 5/6) ao amarelo brunado (10YR 6/6) e passando por vermelho (2,5YR 4/6), de consistência muito dura, porosa e moderada drenagem (LEAL, 1996; VIEIRA, 2008). Lucas (1989) assinala que esse tipo de solo na região norte de Manaus, apresenta matéria orgânica na superfície.

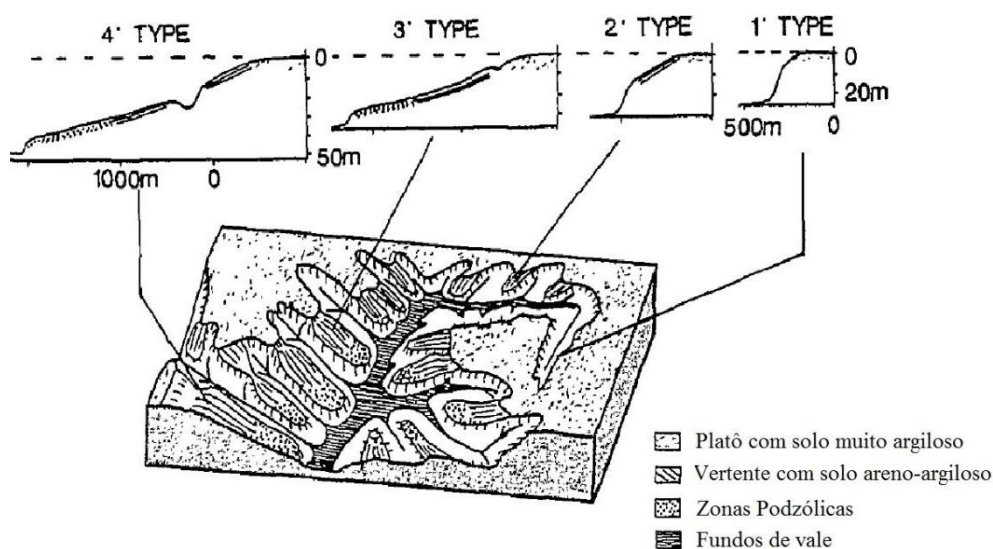


Figura 14: Representação esquemática dos solos nas vertentes da região norte da Cidade de Manaus. Adaptado de Lucas, 1989.

Na base das encostas se encontram solos mais arenosos, podendo ser Espodossolos (VEIRA, 2008) ou Neossolos Quartzarênico (FROTA FILHO, 2016). Referente aos Espodossolos, Leal (1996) e Vieira (2008) afirmam que esses solos, apresentam horizontes superficiais de textura arenosa e cor branca, podem atingir alguns metros de espessura, pois apresentam consistência solta; aparecem nas partes inferiores das encostas, baixios e fundo de vale, os quais podem apresentar água no interior do pacote em razão de acompanham os principais cursos d'água (LUCAS, 1989).

Horbe *et al.* (2003) apontam que os Espodossolos de Manaus são coincidentes com a região de cotas altimétricas mais baixas, com frequentes exposições de saprólito e do Arenito Manaus próximo a superfície, em especial em áreas com voçorocas. O saprólito arenoso de cor roseada é desenvolvido a partir da Formação Alter do Chão, onde é naturalmente menos lixiviado e, portanto, mais rico em feldspato que os demais horizontes. Sobre este solo, pode-se destacar que a vegetação no local é caracterizada

como campinarana, sendo menos densa e exuberante do que a floresta equatorial (VIEIRA, 2008), devido aos solos mais pobres em nutrientes.

Em estudo realizado por Vieira (1998), sobre análise de solos em paredes de voçorocas, foi observado que na área da bacia, o solo possui uma variação argilosa no topo do perfil e perde essa característica à medida que o perfil aprofunda, reduzindo seu caráter argiloso na parte inferior, tendo mais areia próximo ao contato com o Arenito Manaus. Caracteriza-se como muito argiloso a argiloso nos 6 primeiros metros, franco arenoso de 6 a 10 metros, de 10 a 13 metros apresenta uma característica de areia franca e de 13 a 18 metros arenoso.

Em nível local, em caracterização pedológica da bacia Colônia Antônio Aleixo via topossequência representativa (FIGURA 15), foi possível observar processo de evolução pedogenética, sendo encontrados Latossolo Amarelo no topo, Argissolo Amarelo no terço médio e Neossolo Quartzarênico Hidromórfico no sopé da encosta (FROTA FILHO, 2016).

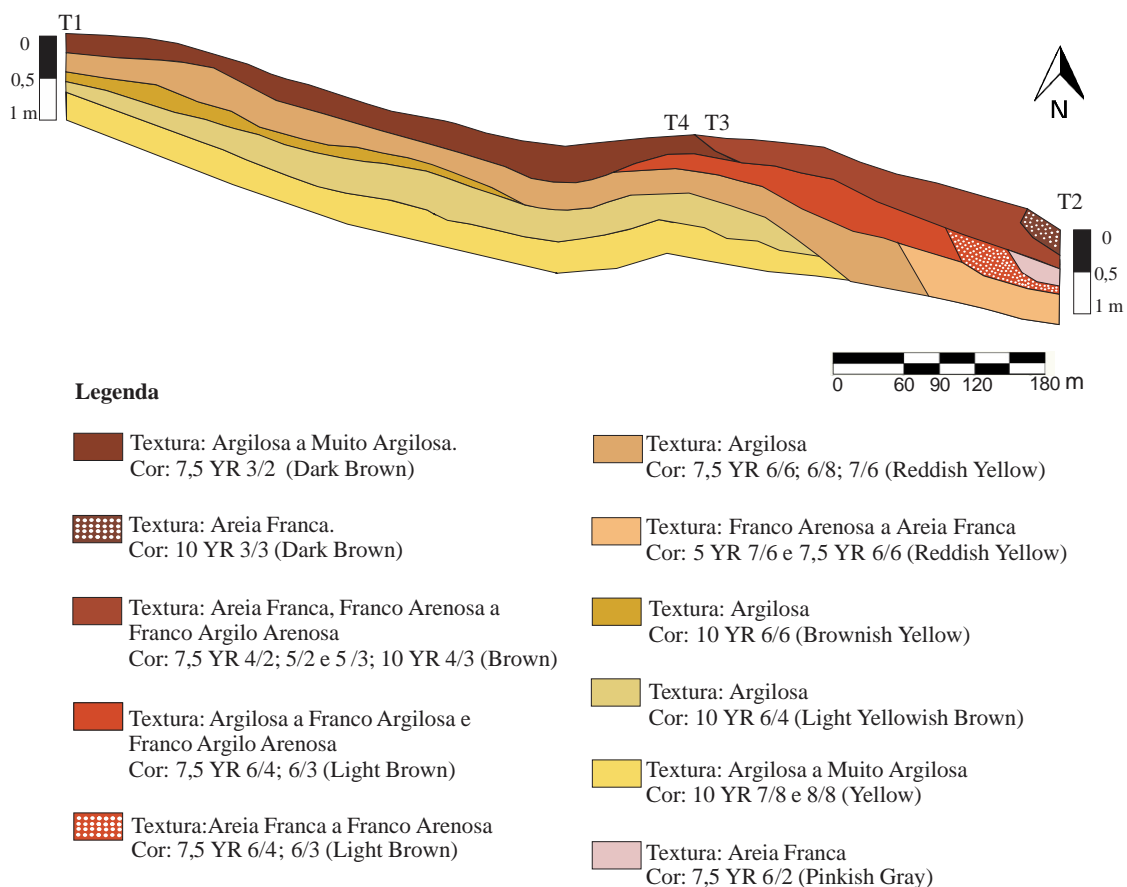


Figura 15: Toposequência 01 realizada na Bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, e pontos de tradagem (T1, T4, T3 e T2).

Fonte: Frota Filho, 2016.

Lucas *et al.* (1984) e Lucas (1989) atestam que o Latossolo, o Argissolo e o Espodossolo fazem parte da evolução pedogenética que ocorre nas vertentes, nos quais há o processo de lixiviação. Conforme afirma Lucas (1989), há o empobrecimento do solo onde são lavadas as argilas e óxidos de ferro presentes no perfil por um processo denominado de Espodolização (podzolização), o qual ocorre de forma remontante, ou seja, da base em direção ao topo.

Na base da vertente estão os Espodossolos ricos em areias, no topo estão os Latossolos, ricos em argilas e óxidos de ferro.

No topo estão os Latossolos, ricos em argilas e óxidos de ferro, na seção média da encosta estão os solos de transição como Argissolos e na base da vertente estão os Espodossolos ricos em areias. A presença do Neossolo Quartzarênico na base da vertente não impossibilita tal análise, pois o Espodossolo pode estar abaixo desta camada de deposição.

Quimicamente falando, o solo apresenta pH que varia na encosta entre valores de 3,66 a 4,52 e 4,04 a 5,25, em KCl e H₂O respectivamente. O pH ainda revelou duas relações importantes, pelo ΔpH ($\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) indicam a existência e predominância de argilas silicatadas que de forma geral, são resistentes ao processo de destacamento, porém em ambiente degradado, enrijecem e facilitam o processo de escoamento superficial, e conseqüentemente desenvolvem feições erosivas (FROTA FILHO, 2016).

O ΔpH apresentou valores negativos baixos, o que significa que a quantidade de Al³⁺ trocável é baixa e há pouca mobilidade, que permanece no solo e que gera toxicidade às plantas. Assim, caso haja um processo de desmatamento, a vegetação terá poucas chances de se revitalizar, pois o Al³⁺ dificulta ou mesmo impede o desenvolvimento de espécies vegetais (FROTA FILHO, 2016).

3.5 Clima

A precipitação na Amazônia é derivada de diversos processos que ocorrem concomitantemente, a cerca disso Molion (1987) *apud* Mascarenhas Junior *et al.* (2009) aponta como principais fatores de grande escala as células de Hardley e Walke e de mesoescala Alta da Bolívia. Além disso, estudos de Cohen (1989) mostram que as Linhas de Instabilidade são responsáveis por chuvas em períodos secos, em especial, no que se refere à cidade de Manaus (AM).

Aguiar (1995) destaca que a temperatura média compensada anual para a região urbana apresenta mínimas em torno de 23,2°C, médias de 26,7°C e máximas de 31,5°C. Já no período de agosto a novembro, as médias tornam-se mais altas e médias mais baixas nos meses de fevereiro e março.

Silva (2009) observou que na cidade de Manaus a temperatura máxima foi 33,6° C e mínima de 27,8° C, tendo como média das máximas de 28,1°C e média das mínimas de 24,1°C, no período mais quente do ano (agosto a novembro). No período mais ameno (janeiro a abril) a máxima de 21,6° C e mínima de 29,5° C, as temperaturas mais elevadas se concentram em regiões com menor número de áreas verdes, formando as ilhas de calor. A média de temperatura na cidade de Manaus variou entre 29 e 30° C no período mais quente e 24° C no período mais ameno.

Segundo Tanaka *et al.* (2014), o período chuvoso se estende por 7 meses, enquanto o período de estiagem por apenas 5 meses. Apesar de a cidade ser espaço urbano e possuir menos umidade natural, a precipitação anual em área urbana é superior (82%) quando comparada às áreas florestadas (78%). Mascarenhas Junior *et al.* (2009) indagam que o processo de urbanização, da cidade de Manaus, não reduziu as taxas de precipitação e sim as aumentou, pois, a cidade concentra calor provocando áreas de baixa pressão atraindo e concentrando chuvas.

Para Mascarenhas Junior *et al.* (2009), um padrão de precipitação em anos mais chuvosos, não são necessariamente os dias com mais pluviosidade, mostrando através do processo de chuvas intensas, a concentração de precipitação em um período curto de tempo, o que desencadeia o desenvolvimento e aceleração de processos erosivos lineares.

Como ressaltam Aguiar (1995) e Vieira (2014) as chuvas na cidade não se distribuem de forma homogênea, pois no centro da cidade, são encontrados os menores índices de precipitação e a taxa pluviométrica aumenta, à medida que se aproxima das áreas periféricas, colaborando para concentração da maior parte das incisões erosivas. A bacia Colônia Antônio Aleixo tem sua foz no rio Amazonas, as chuvas de origem de brisa fluvial tendem a se concentrar na região do curso médio da bacia, a qual apresenta o maior número de incisões.

Em um estudo realizado por Fernandes (2014) observou-se que em relação à distribuição dos totais mensais de chuva, na cidade de Manaus, durante o intervalo de 1962 a 2012 (50 anos), o período de janeiro a dezembro foi possível identificar como padrão geral uma oscilação da chuva decrescente nos meses iniciais e crescente no final

dos anos. Quanto às distribuições dos totais de chuva no geral as máximas precipitações estão concentradas de janeiro a maio, os picos com menor precipitação concentram-se nos meses de junho a outubro, em seguida aumentam com menor intensidade nos meses de novembro para dezembro (FERNANDES, 2014).

O período mais chuvoso, de janeiro a maio, apresenta precipitação média variando de 150 a 400 mm, alcançando em anos atípicos valores superiores 500 mm (FERNANDES, 2014).

No que tange ao potencial erosivo das chuvas, na cidade de Manaus, há dois trabalhos que se destacam na área, o trabalho de Silva (2004) que apresenta um caráter mais geral, pois versa sobre erosividade da chuva no Brasil como um todo, e o trabalho de Fernandes (2017) que trata a malha urbana de Manaus, com dados de precipitação e erosividade dos anos de 1986 a 2015.

Silva (2004) explica que o potencial erosivo dos eventos chuvosos, ou seja, a erosividade para a região Amazônica é bastante elevada, representando o mais alto índice, quando comparada com o restante do Brasil. E que a influência das altas taxas pluviométricas influencia no desencadeamento do processo erosivo e desenvolvimento de voçorocas, em especial, quando o solo exposto, ou com pouco cobertura vegetal. Silva *et al.* (2009) assinala um valor elevado para a taxa de erosividade na ordem de $14.129 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a cidade de Manaus, considerando que a faixa de variação para o Brasil é de 3.116 a $20.035 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (FIGURA 16).

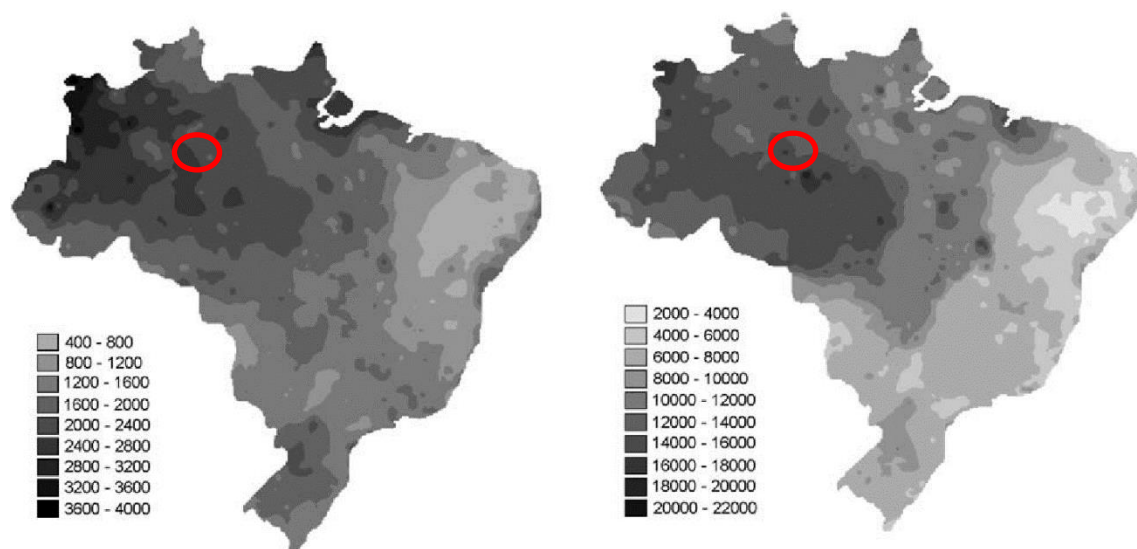


Figura 16: Comparação dos mapas de pluviometria anual (à esquerda, em mm por ano) e Erosividade (em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Círculo vermelho destaca a cidade de Manaus. Fonte. Silva, 2004

Em nível de detalhe, trabalhos de Fernandes (2014; 2017) auxiliam a desenvolver melhor a interpretação do potencial erosivo das chuvas para a cidade de Manaus, com base nos trabalhos da referida autora, foi possível desenvolver uma série histórica de 55 (1961 - 2015) anos para a cidade, gráfico 1, que apontam a capacidade da chuva em promover erosão como baixa, apresentando como valores entre 8,7 (ano de 1982) e 21,8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (ano de 2008), e média para o período de 15,6. Contudo, os anos que apresentaram maiores suscetibilidades à erosão causadas pela chuva, destaca 1989 com 21,6 (EI55mm) e 2008 com 21,8 (EI55mm) ambos dois anos com presença forte do fenômeno *La Niña* (FERNANDES, 2017).

A distribuição mensal possibilita uma abordagem mais detalhada acerca da erosividade da chuva, Fernandes (2017) explana que no período de 1986 a 2015, de janeiro a maio o potencial erosivo da chuva é maior, em detrimento do intervalo de junho a outubro (GRÁFICO 02). O que é corroborado por Oliveira Junior e Medina (1990) que desenvolveu um trabalho com a mesma temática, usando dados pluviométricos de 1973 a 1983 que apontam que “pode-se esperar elevada erosão de novembro a maio, se o solo estiver exposto ao impacto das gotas da chuva, que atuam na desagregação de suas partículas, sendo, pois, a fase mais importante do processo erosivo”.

O trabalho de Fernandes (2017) contrasta com o de Oliveira Junior e Medina (1990), que no último, o mês de março foi o mais crítico, enquanto que no mais recente, o mês mais nevrálgico foi abril, como pode ser observado no gráfico 2, o que mostra que os padrões pluviométricos vêm sofrendo mudanças sutis no decorrer dos anos. Sendo esta uma dinâmica que está se tornando recorrente nas áreas urbanas no trópico úmido.

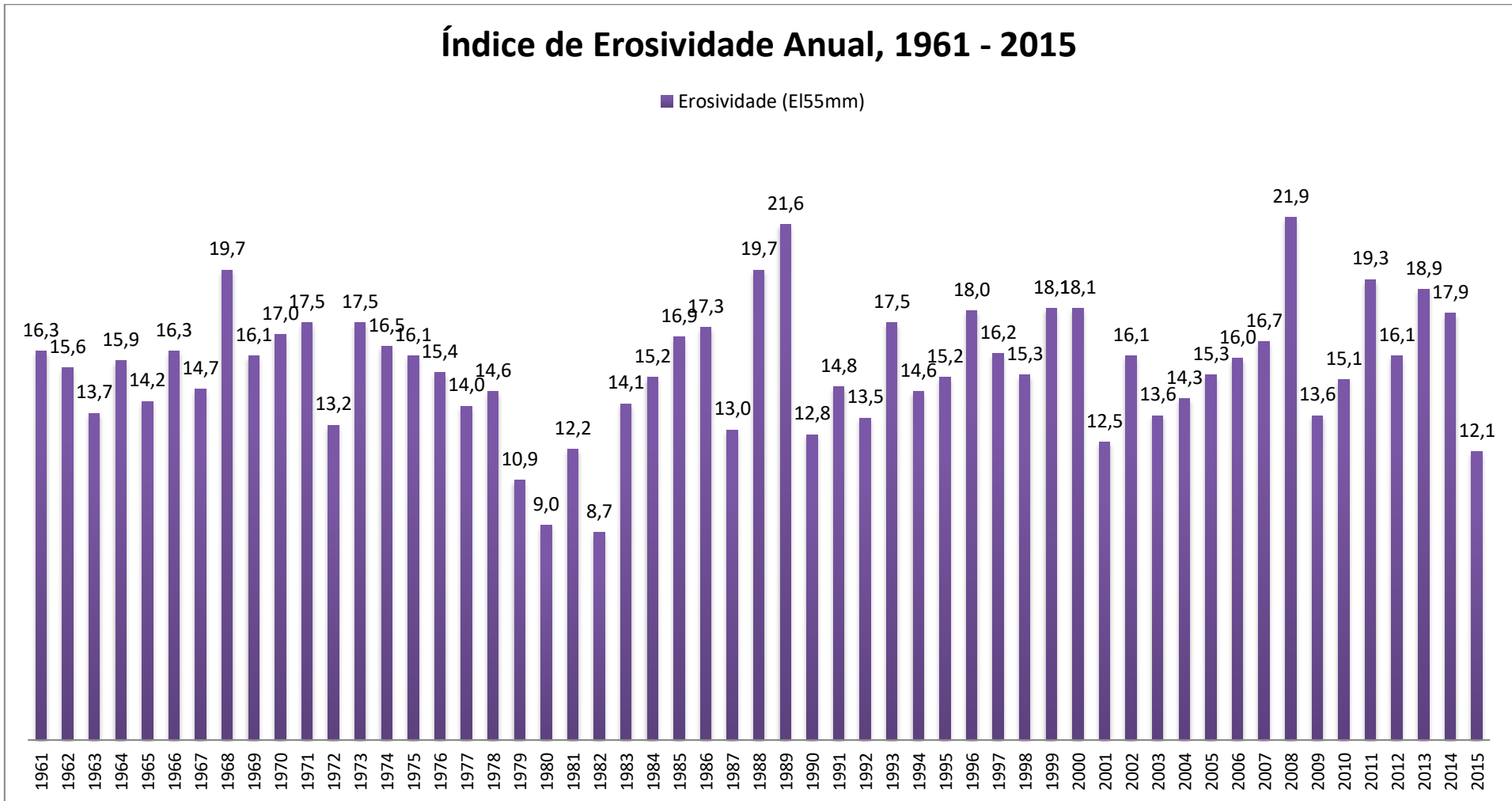


Gráfico 1: Índice de erosividade anual de 1961 a 2015, em Manaus- AM
 Fonte: Fernandes (2014) e Fernandes (2017). Org. Armando Brito da Frota Filho.

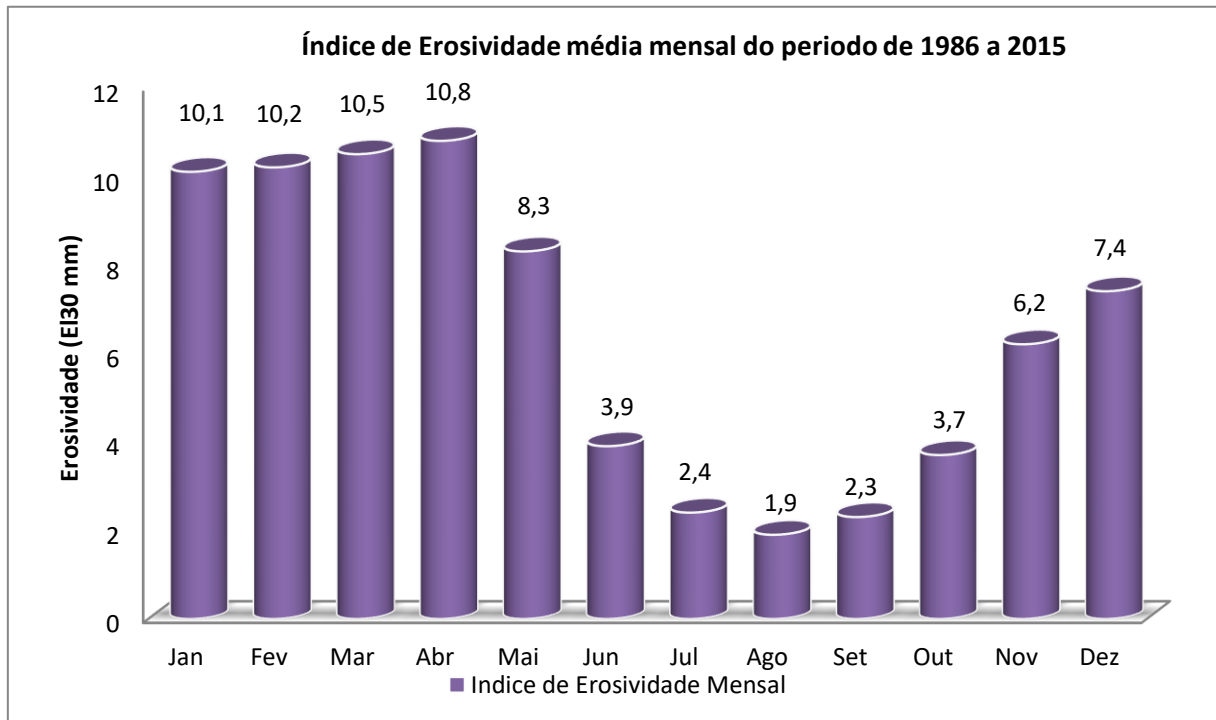


Gráfico 2: Índice de erosividade mensal do período de 1986 a 2015, em Manaus- AM
Fonte: Fernandes (2017).

3.6 Hidrografia

Ab'Saber (1953) caracteriza a cidade de Manaus como sendo formada por uma intrincada rede de cursos fluviais, no qual o sistema Rio Negro-Rio Amazonas, destaca-se por ser um agente de drenagem e ter seu baixo curso situado na unidade morfoescultural, denominada Planalto da Amazônia Ocidental.

A cidade é delimitada ao sul pelo sistema supracitado, a Leste pelo Rio Puraquequara e a Oeste o Rio Tarumã-Açu, que forma uma barreira natural a expansão urbana (VIEIRA, 2008). De acordo, com a divisão das bacias hidrográficas da cidade de Manaus realizada por Vieira (2008), há 19 bacias classificadas em função da localização de suas respectivas desembocaduras em 03 grupos: bacias do Oeste (três bacias), bacias do Sul (nove bacias) e bacias do Leste (sete bacias).

Em termos de tamanho médio das áreas ocupadas pelas bacias, verificou-se que as do Oeste apresentam média de 68,4 km². Em segundo lugar, estão as bacias do Sul com média de 24,8 km² e as bacias do Leste com as áreas em torno de 11,9 km². Em termos de área, destacam-se quatro grandes bacias: bacia do Tarumã, bacia do São Raimundo, bacia do Educandos e bacia do Gigante (VIEIRA, 2008).

Igreja e Franzinelli (2011) apontam que a jusante da Ponta das Lajes a superfície do terraço tem gradação para cotas mais baixas na medida em que se afasta da calha do rio, até a cota de 75 metros. Com largura mínima, cerca de 2.000 metros e a jusante há o alargamento progressivo do canal e o recuo do terraço, formando o lago do Aleixo, que fica na foz da bacia Colônia Antônio Aleixo.

A partir desta divisão, a bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo foi delimitada, de forma que se apresenta, localizada no grupo de bacias do Leste com desembocadura para o sistema do Rio Amazonas.

No que tange diretamente à bacia estudada, esta apresenta as seguintes características morfométricas, área de 24,93 km², comprimento de 7,45 km e largura média de 4,36 km, o que a caracteriza como uma bacia relativamente pequena.

Quanto aos parâmetros morfométricos, a bacia tem densidade hidrográfica de 5,14 km/km², pois apresenta possibilidade de geração de novos cursos, conforme parâmetros de Macuzzo *et al.* (2012), assim sendo, dita como bem drenada. A sua densidade de drenagem é 6,12 km/km², sendo caracterizada como baixa por padrões de Christofolleti (1969), contudo a se considerar padrões de Beltrame (1994), por ser superior a 3,5 km/km² é classificada como muito alta. Quanto à extensão do percurso superficial é de 26m, que de acordo com Sousa e Rodrigues (2012) favorece o escoamento superficial.

A bacia apresenta padrão de drenagem dendrítico e, conforme Christofolleti (1980) é um padrão também conhecido como Arborescente, pois se assemelha à configuração de uma árvore, onde o rio principal é o tronco em que seus tributários são seus ramos e os tributários de menor categoria são os ramos das folhas. Neste tipo de padrão de drenagem, as junções dos canais fazem ângulos agudos com graduações variadas, sem chegar a ângulos retos (FIGURA 17).

Entretanto, muitos cursos da bacia apresentam ângulos retos, resultado de controle estrutural e no tocante a isto Suguiu e Bigarella (1990) apontam que quando há a presença de ângulos retos no padrão dendrítico é caracterizado como uma variação do padrão, sendo denominado de Retangular-dendrítico. Ainda sobre as características da rede drenagem é válido mencionar a influência da ocupação humana e processos de urbanização à montante da bacia, área na qual alguns cursos estão com suas drenagens em galerias.

No que se refere ao canal principal, o mesmo tem índice de Sinuosidade (I_{sin}) de 1,04, o que pelos parâmetros de Lana (2001) *apud* Landin Neto *et al.* (2014) é muito baixo, sendo considerado quase que retilíneo, isso se explica pelo controle estrutural da região (FROTA FILHO, 2016), outra característica desse tipo de canal é a sua pequena capacidade de acúmulo

de sedimentos que está associada também ao tipo de água dos rios que são negras, notórias pela baixa carga sedimentar.

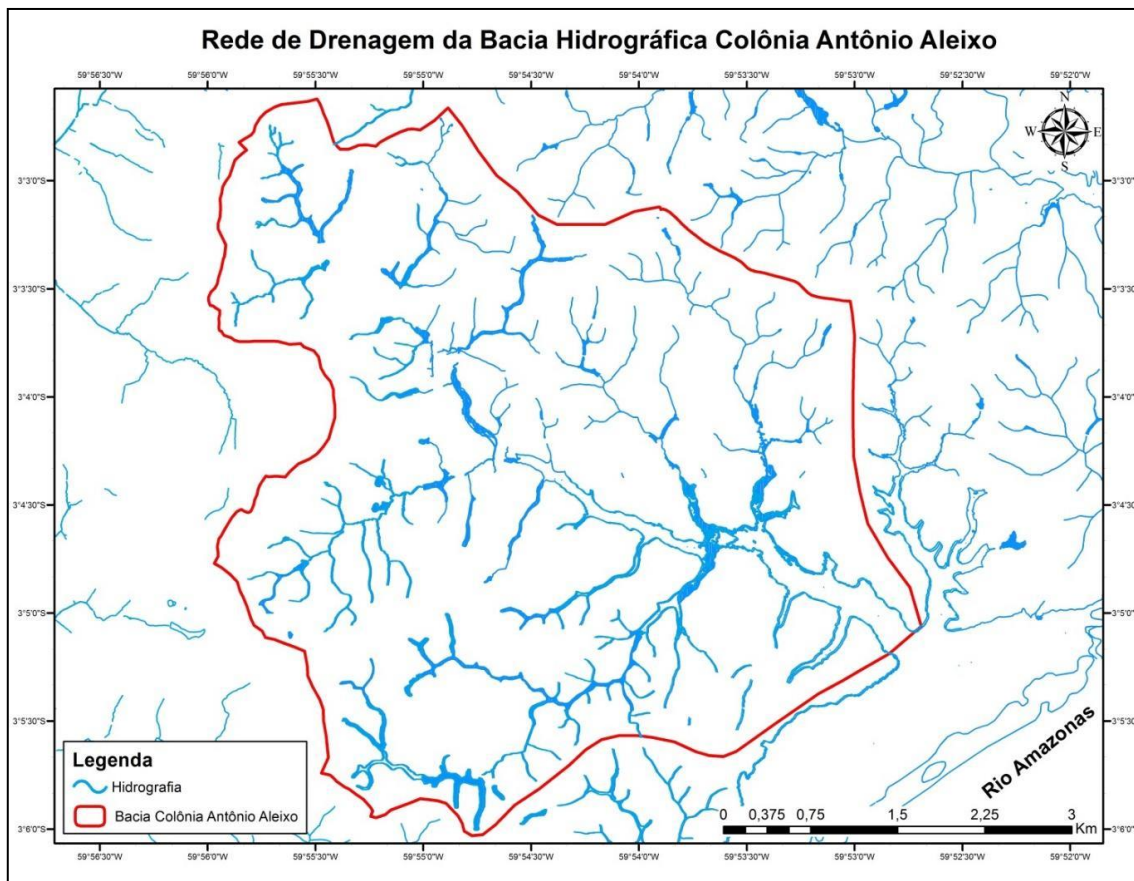


Figura 17: Rede de Drenagem da bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo.

Fonte: ArcGIS Online, Unidade Transversa de Mercator, Zona 21S, Datum WGS-84. Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2019

Entretanto, Barbosa (2013) revela que a bacia apresenta alta concentração de sedimentos em suspensão entre 2 a 2,4 mg/l, um valor considerado elevado em face ao pequeno porte da bacia, comparado ao Rio Negro que apresenta carga de sedimentos de 5 mg/l (MEADE *et al.*, 1979), com número elevado de feições erosivas e seus sedimentos são carregados para os canais, o que aumenta sua carga de sedimentos e, conseqüentemente, tem a capacidade de alterar a forma e tipo de canais de transitórios-retilíneos para tortuosos (FROTA FILHO, 2016).

O canal principal e eixo da bacia possuem orientação NW-SE, sentidos predominantes dos cursos fluviais e vales na região, devido ao controle estrutural neotectônico. Na bacia Colônia Antônio Aleixo, o rio principal da bacia é de 5º ordem, classificado a partir do modelo de Strahler (1952).

Na figura 18, pode ser observado o desnível altimétrico do terreno de 49 metros, em que a nascente se encontra na cota de 74 metros, enquanto que sua foz em 25 metros e apresenta comprimento de 7,775 km (7754,09 metros) da nascente a foz, com orientação NW-SE.

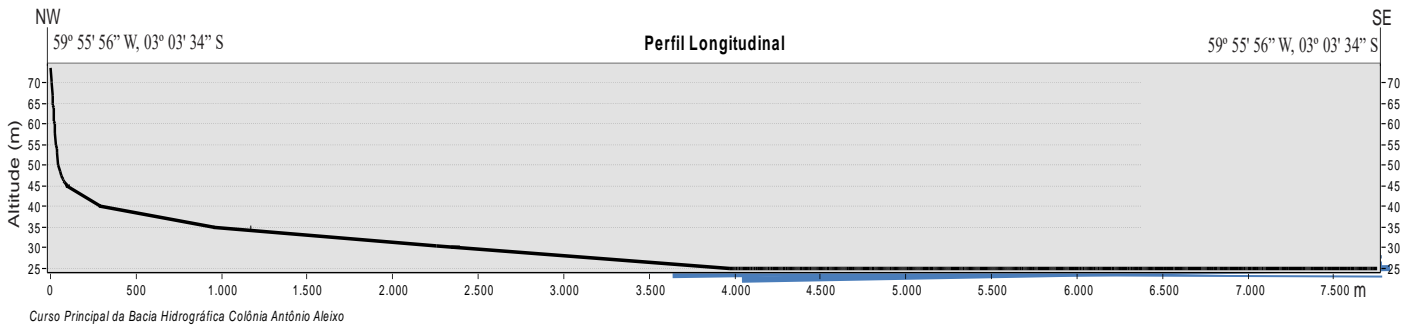


Figura 18: Perfil Longitudinal do rio principal da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.
Fonte: Frota Filho (2016).

Em azul, destaca-se o trecho de cheia do canal principal da bacia Colônia Antônio Aleixo, levando em consideração a maior cheia registrada do rio Amazonas, que ocorreu em 2012, tendo alcançado 29,78m.

A dispersão hidráulica é maior na área do curso superior da bacia, que diminui gradativamente no curso médio e baixo. E favorece vazão lenta na jusante em função da baixa altimetria neste trecho e ao barramento hidráulico causado pelo Rio Amazonas.

Quanto à vazão, Barbosa (2013) ressalta que a velocidade média encontrada foi de 0,0472 m/s e a vazão foi de 79,3 m³/s, o que indica uma vazão baixa em comparação com outros rios como o Rio Negro, que apresenta vazão de 28 400 m³/s próximo a Manaus (GUYOT *et al.*, 1993) e com o Rio Amazonas com vazão de 209 000 m³/s na sua foz (MOLINIER *et al.* 1995 *apud* FILIZOLA; GUYOT, 2004). A vazão e a alta carga de sedimento em suspensão pode ser relacionadas ao fato da bacia apresentar uma “foz afogada” resultante de uma ria fluvial no Rio Amazonas, gerando um barramento hidráulico na desembocadura da bacia, fazendo com que a velocidade do rio seja reduzida em todos os trechos do curso principal da bacia.

3.7 Vegetação

Conforme Bohrer e Gonçalves (1991), Manaus está inserida na Floresta Amazônica (Floresta Ombrófila Densa) e devido à expansão da malha urbana a vegetação nativa vem sofrendo um processo de supressão com a permanência de pequenos enclaves florestais, na cidade, cercados por barreiras antrópicas. Desses enclaves se destacam: a Área de Proteção Ambiental (APA), referente ao Campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM); a Reserva Florestal Adolpho Ducke e Parque Estadual Sumaúma, além da periferia de Manaus, parcialmente vegetada.

Estudos de Lima e Nelson (2003) *apud* Pinheiro *et al.* (2010) verificaram uma redução de aproximadamente 9500 ha de cobertura vegetal entre os anos de 1985 e 1999, que corroboram com a análise de Vieira (2008), o qual ressalta que, em estudo realizado pelo

SIPAM (2005) *apud* Vieira (2008), foram detectados aumento de áreas desmatadas nos anos de 1986 com 192,63 km², 1995 com 234,19 km² e 2004 com 288,35 km², com uma consequente redução de áreas verdes, passando de 248,66 km² em 1986 e 206,12 km² em 1995 para 152,65 km² em 2004. O que apresenta uma redução de 96,01 km², cerca de 38,61% de diminuição entre os anos de 1986 a 2004.

Vieira (2008) ainda afirma que:

Em termos de área verde, as Zonas Leste e Norte foram as que apresentaram as maiores perdas no período (1986 a 2004): respectivamente 47,82 km² e 26,67 km², configurando aumento na área desmatada de 100,6% para a primeira e de 84,2% para a segunda. De modo geral, o aumento do desmatamento nesse período em toda a cidade ficou em torno de 49,86%, área aproximada de 96 km². (VIEIRA, 2008, p. 36 e 37)

Vieira (2008) analisa o desmatamento nos anos de 1986, 1995 e 2004, no que se refere à Zona Leste de Manaus, é possível observar na Tabela 04 a parte da cidade que sofreu a maior perda em porcentagem de áreas florestadas, devido à ausência da cobertura vegetal associada à expansão urbana e às altas taxas pluviométricas da cidade, onde os processos erosivos são facilmente deflagrados.

Pinheiro *et al.* (2013) colaboram com esta análise ao atestarem que no período de 1977 a 2011, houve redução drástica na cobertura florestal da cidade (FIGURA 19), em especial, na zona leste e na área das BHCAA, onde em 1977 a área era praticamente vegetada e em 2011, grande parte da vegetação foi retirada, o que favoreceu o desenvolvimento de feições erosivas.

Tabela 4: Desmatamento e áreas verdes em Manaus (1986 a 2004)

Zona	Área Desmatada (%)			Área Verde (%)			Área		
	1986	1995	2004	1986	1995	2004	Total km ²	A.D. km ² *	(%) **
Leste	47,58	69,96	95,4	115,45	93,07	67,64	163,03	47,82	100,6
Norte	31,65	43,96	58,3	36,59	24,29	9,93	68,24	26,67	84,2
Oeste	45,37	48,42	58,9	74,16	71,11	60,58	119,53	13,58	29,9
Centro-Oeste	14,98	15,24	15,38	2,59	2,32	2,19	17,57	0,40	2,7
Centro-Sul	24,51	28,07	31,62	11,99	8,44	4,88	36,50	7,11	29,0
Sul	28,51	28,51	28,96	7,90	7,90	7,46	36,41	0,45	1,6
Total	192,60	234,19	288,63	248,68	206,12	152,65	441,28	96,03	49,86

* A.D. (Área desmatada) refere-se a diferença entre a área desmatada até 2004 menos a área desmatada até 1986.

** Percentual relativo ao aumento da área desmatada de 1986 para 2004

Fonte: Elaborado por Vieira (2008) a partir de dados modificado de SIPAM (2005).

Referente à Manaus, restam apenas cerca de 40% da vegetação original, com a principal causa do desflorestamento relacionado ao crescimento urbano e populacional, associado, principalmente, à existência da Zona Franca e do Polo Industrial.

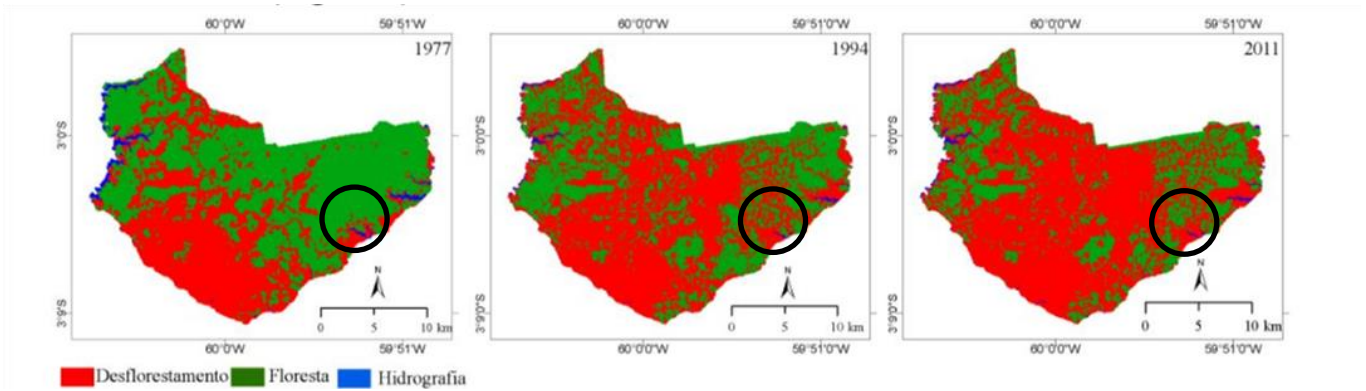


Figura 19: Alterações na cobertura florestal urbana (1977, 1994 e 2011) de Manaus, AM, Brasil. Círculo preto destaca a área da bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Pinheiro *et al.*, 2013

Como apontam Pinheiro *et al.* (2010) este processo é um reflexo da ineficácia e/ou não execução de planejamento urbano, relacionado à ausência de políticas habitacionais que favoreçam o avanço da população sobre formações e fragmentos florestais e áreas de APPs.

4 METODOLOGIA

Os dados foram analisados individual e coletivamente, no que tange aos aspectos naturais (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Hidrografia, Vegetação e Clima) e aos sociais (Ocupação Humana) da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, objetivando compreensão das relações entre todos os componentes e a identificação de ação humana na mudança, na evolução da paisagem, e do modelado do relevo, assim como na ocorrência de voçorocas.

A pesquisa consiste do levantamento bibliográfico, cartográfico e iconográfico sobre a área de estudo e adjacências, fundamentação teórica, atividades de gabinete e práticas (campo e laboratório).

Para o levantamento dos dados cartográficos foram utilizadas bases e imagens disponibilizadas por instituições, como: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>); Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM; Ministério de Meio Ambiente – MMA (<http://geocatalogo.mma.gov.br/index.jsp>); Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Manaus (SEMMAS); *United States Geological Survey* – USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Assim, os produtos de sensoriamento remoto empregados para confecção dos mapas temáticos são:

- Imagem do satélite RapidEye, ano de 2012, com resolução espacial de 5 metros. Fonte: Ministério de Meio Ambiente;
- Imagem do satélite ADS 80, ano de 2015, com resolução espacial de 50 cm. Fonte: Sistema de Proteção da Amazônia;
- Landsat8 – Imagens de julho de 2017 a fevereiro de 2018, com resolução espacial de 15 metros;
- Mapa de declividade gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) com cotas a cada 5 metros. Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Manaus (SEMMAS);
- Mapa de Formas do Terreno Fonte: TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do Brasil – 2008;
- Imagens do *software Google Earth* dos anos de 1980 a 2018.

Com intuito de responder o objetivo principal desta pesquisa, no caso: Avaliar como as alterações na geomorfologia original influenciam na aceleração do desenvolvimento de processos erosivos na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. É nesse aspecto que os procedimentos metodológicos, que seguem abaixo, foram estruturados, no qual cada objetivo específico apresenta seu próprio conjunto de atividades e desenvolvimento.

Logo, as atividades visam contemplar os seguintes objetivos: 3.1 Caracterização da ocupação e uso da terra e suas influências no processo erosivo na bacia Colônia Antônio Aleixo; 3.2. Identificação dos estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos; 3.3. Mapeamento e monitoramento das voçorocas da área de estudo; 3.4. Correlação das características pedo-hidrogeomorfológicas e da ocupação e uso a terra à ocorrência de processos erosivos, e; 3.5. Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas. Assim, cada objetivo terá um conjunto de metodologias a serem desenvolvidas para alcançá-lo.

Na figura 20, segue o cronograma com os procedimentos metodológicos e operacionais da pesquisa, individualizando a metodologia de cada objetivo específico e seus resultados esperados



Figura 20: Fluxograma dos objetivos, procedimentos operacionais e resultados esperados.
Org: Armando Brito da Frota Filho e Diego Janoti Suarez, 2018

4.1 Caracterização da cobertura e uso da terra suas influências no processo erosivo na bacia Colônia Antônio Aleixo

A caracterização da ocupação e uso da terra foi realizada na perspectiva da análise de evolução da paisagem e da abordagem da geomorfologia antropogênica, ambas referenciadas por Moroz-Caccia Gouveia e Rodrigues (2017), consiste na análise da configuração geomorfológica urbana e na identificação das mudanças morfológicas impostas pela ocupação urbana, a fim de avaliar a influência das intervenções antrópicas nos processos erosivos.

As representações espaciais por meio de mapas auxiliam no melhor entendimento da espacialização de fenômenos e processos, nesse sentido, de acordo com Stow (2010) no que se refere ao monitoramento, são necessárias imagens de anos diversos para o reconhecimento, inventário e mapeamento.

Foram utilizadas e adaptadas as orientações descritas por Rodrigues (2005) para estudar os efeitos das ações antrópicas no meio natural:

- a) observar as ações humanas como ações geomorfológicas na superfície terrestre;
- b) investigar nas ações humanas padrões significativos para a morfodinâmica;
- c) investigar a dinâmica e a história cumulativa das intervenções humanas, iniciando com os estágios pré-perturbação;
- d) empregar diversas e complementares escalas espaço-temporais;
- e) explorar a abordagem sistêmica;
- f) usar a noção de limiar geomorfológico e a análise de magnitude e frequência;
- g) dar ênfase à análise integrada em sistemas geomorfológicos;
- h) ampliar o monitoramento de balanços, taxas e geografia dos processos derivados e não derivados de ações antrópicas. (RODRIGUES, 2005, p.05)

O processo de caracterização do uso e ocupação da bacia Colônia Antônio Aleixo se deu em duas etapas: 1) levantamento de imagens (satélite e/ou aerofotografia), da área urbana de Manaus, para exibir o processo de crescimento da cidade em direção à área de estudo, referente aos anos de 1999 e 2010, e; 2) caracterização por meio de série histórica do processo de ocupação e urbanização da bacia, com as imagens disponíveis dos anos de 2001, 2007, 2013 e 2019 com foco às dinâmicas de uso e ocupação do solo e urbanização da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo.

Os períodos de 1999 e 2010 se justificam pela disponibilidade de imagens para realização do contexto histórico da bacia, considerando as ocupações urbanas que se intensificaram na década de 90 e anos 2000. Quanto aos anos da série histórica da bacia, foram escolhidas a partir das disponibilidades de imagens de melhor resolução espacial. Nos casos das duas séries históricas, foram escolhidas imagens no mesmo período hidrológico, época de

estiagem e com poucas nuvens (junho a agosto), a fim de reduzir as disparidades quanto à massa de água, assim como manter a padronização.

Dessa forma, utilizou-se imagens de satélite referentes aos anos de 1999, 2001, 2007, 2010, 2013 e 2019. As imagens Landsat 7 (1990) e Landsat 8 (2018) serão utilizadas para uma série histórica da bacia e de suas adjacências.

Os mapas dos anos 1999 e 2010 tiveram escala de 1:150.000, com classes: água, vegetação e urbanização. E os produtos cartográficos, referentes ao uso e ocupação do solo da bacia, especificamente, tiveram escala de 1: 20.000, com as classes temáticas de água, vegetação, solo exposto e urbanização consolidada.

Foram utilizados os seguintes dados cartográficos:

- Imagem do satélite ADS 80, ano de 2015, com resolução espacial de 50 cm. Fonte: Sistema de Proteção da Amazônia;
- LandSat8 – Imagens de julho de 2017 a fevereiro de 2018, com resolução espacial de 15 metros;
- Imagens do projeto MapBiomas – anos de 2001, 2007, 2013 e 2019, com resolução espacial de 15 metros;
- Imagens do *software Google Earth* dos anos de 2000 a 2020.

Com base na série histórica produzida realizou-se a interpretação de como o processo de urbanização afetou a dinâmica natural, mostrando visual e estatisticamente, por meio dos mapas, quanto a área urbanizada cresceu no decorrer dos anos, e quais as áreas mais afetadas por este processo. Foram realizados trabalhos de campo para validação e corroboração das informações obtidas por meio do SIG.

4.2 Identificação dos estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos

Com base nos mapas de uso e ocupação do solo da bacia, em especial, o mais recente (referente ao ano de 2018), e da imagem do *Google Earth Pro*, referente ao ano de 2020, foi elaborado o mapa dos estágios de urbanização. O tal foi validado com auxílio de trabalhos de campo com coleta de dados primários, pôde-se identificar e caracterizar o espaço urbano ocupado, com base na descrição das fases de urbanização definidas por Nir (1983) e Tucci e Collischon (2000), e detalhadas por Rodrigues e Gouveia (2013; 2017) que dividem o processo de ocupação em três momentos, todos, presentes em diversos pontos da bacia:

a) **Estágio pré-urbano** ou **estágio zero** consiste em espaço ainda não alterado pelo homem ou interferências, nesse caso sendo considerados como as áreas verdes da bacia.

b) **O primeiro estágio** corresponde à transformação do perímetro pré-urbano (período antes da intervenção) para o urbano inicial, na qual ocorre o processo de desmate e retirada da cobertura vegetal, associado à movimentação de grandes volumes de terra e desestruturação das camadas do solo, seguido pela construção de casas, de tanques sépticos e da rede de drenagem de águas servidas e pluviais (RODRIGUES; GOUVEIA, 2013).

c) **O segundo estágio** do processo de urbanização é caracterizado pela sua não consolidação e loteamentos em fase de ocupação, em que há a produção de formas mais planas, por meio da instalação de calçamento, de ruas e outras edificações, com a execução de cortes e aterros, originam descontinuidades morfológicas e os materiais de menor coesão são carreados.




Essa fase é caracterizada pela diminuição da infiltração e elevação da taxa de escoamento superficial, devido ao aumento considerável de áreas impermeabilizadas, que elevam significativamente a taxa de deposição, como afirmam Rodrigues e Gouveia (2013).

d) **O terceiro estágio** trata da consolidação do processo de urbanização, em que ocorrem muitas edificações residenciais e públicas, além da construção de indústrias, e assim apresenta como consequência o aumento do escoamento superficial, de vazão e das ocorrências de picos de cheia. Conforme Rodrigues e Gouveia (2013), este aumento do escoamento superficial ocorre pelo aumento das superfícies impermeabilizadas, associadas à entrada de água no sistema, oriundas de outras bacias para o abastecimento público.

Considerando as dimensões da bacia e as imagens disponíveis escolheu-se desenvolver o mapa dos estágios de urbanização (escala de 1: 35.000) em três categorias, sendo elas: Fase 0: caracterizadas pelas áreas verdes; Fase 1 e 2: caracterizadas por solo exposto e início de construções; Fase 3: urbano consolidado.

Além disso, no processo de delimitação das áreas, aglutinou-se áreas com propensão à mudança, ou seja, há pontos de vegetação dentro dos polígonos de fase 3, visto que devido ao processo de urbanização e pressão, essas manchas tendem a desaparecer. Da mesma forma que áreas polígonos pequenos do que poderia ser estágios 01 e 02 foram agregados ao estágio 03, como segue a chave de interpretação abaixo, quadro 3.

Quadro 3: Chave de interpretação dos estágios de urbanização por meio de Imagens do *Google Earth Pro*, com amostras na bacia, referente ao ano de 2021.

Imagem	Objeto	Estágio de urbanização	Chave de interpretação
	Vegetação	Estágio 0	Cor verde (dependendo do tipo de vegetação, pode ser bem claro, tendem ao verde-claro), textura rugosa, forma irregular.
	Solo exposto e área com urbanização esparsa	Estágio 1 e 2	Cor bege (dependendo do tipo de solo, pode ser bem claro, tendendo ao branco), textura lisa, forma regular, localizado junto à área urbana (área terraplanadas para instalação de empreendimentos, áreas próximas às voçorocas e locais de deposição) e manchas pequenas de cor cinza, textura ligeiramente rugosa, forma irregular.
	Área densamente urbanizada	Estágio 3	Cor cinza, textura rugosa, forma irregular.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Logo, os mapas de estágios de urbanização possibilitam a visualização da expansão urbana, por meio espacial, areal, temporal e quanti-qualitativo. Além disso, o trabalho de campo teve como intuito a observação e registro das principais mudanças que ocorrem na bacia, incluindo a forma como as águas servidas e pluviais são dispostas, processo de descarte de resíduos sólidos e industriais, áreas de desmatamento recente, entre outras ações relevantes nas alterações das características hidrogeomorfológicas da bacia.

4.3 Mapeamento e monitoramento das voçorocas da bacia

As incisões erosivas foram localizadas a partir do cadastro realizado por Vieira (2008) e atualizado por Abreu (2012), Frota Filho (2012; 2016). Além disso, foram observadas imagens do software *Google Earth* dos anos de 2000 a 2019 e de sobrevoos utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT, pertencente ao Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e

Solos - LATOSSOLO/DEGEO/UFAM, associadas a trabalhos de campo para confirmar suas localizações e morfometria.

O monitoramento geomorfológico, segundo Crozier *et al.* (2010) serve para observar quantitativa e qualitativamente as formas e mudanças que ocorrem na paisagem, e, podem ser utilizados os mais diversos tipos de técnicas e materiais, desde trenas, bússolas e teodolitos até imagens de satélites e mais recentemente VANTs.

O acompanhamento da evolução das voçorocas consistiu de dois monitoramentos: um realizado em setembro de 2017 e outro em janeiro de 2020. Nestes foram mensurados: comprimento, largura, profundidade, área e volume. Quatro¹¹ dessas incisões na bacia Colônia Antônio Aleixo, sendo as com maiores dimensões, mais impactos na rede drenagem (FROTA FILHO, 2016), além da possibilidade da realização do monitoramento durante a tese, considerando a acessibilidade e periculosidade.

Outras voçorocas foram desconsideradas devido à dificuldade em se realizar os monitoramentos, seja pela grande quantidade de vegetação em suas bordas, ou mesmo pela presença de habitações que deixam visíveis apenas a cabeceira da incisão.

O monitoramento foi realizado com o VANT (Drone *Phanton 4*) e por meio dessa ferramenta, observou-se melhor o processo evolutivo das feições e correlacionou-se aos demais dados de campo e laboratório. O quadro 02, abaixo, apresenta os equipamentos e parâmetros utilizados para realização do voo.

Quadro 2: Característica dos parâmetros de voo

Parâmetros do voo	
Modelo do VANT	Phanton 4
Altitude	60 m
Plano de voo	<i>Grid Mission</i>
Câmera	4 K
Ground Samples Distance (GSD)	-
Sobreposição Longitudinal	-
<i>Software</i> para processamentos dos dados	PIX4D

Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.

As imagens foram tratadas no programa *ARGISFOT*, foram extraídas modelos digitais de elevação, ortofotos, modelo tridimensional. Posteriormente, trabalhadas no ambiente de Sistema de Informações Geográficas, via QuantumGIS. Foram realizados os processos de quantificação dos parâmetros métricos (comprimento, largura, profundidade, área e volume), traçado de perfis transversais e longitudinais das incisões e alterações na sua forma.

¹¹ Originalmente foram monitoradas cinco incisões, mas uma delas sofreu intervenção por uma empresa e seu monitoramento foi descontinuado.

In situ foi realizada a caracterização do “Tipo” e da “Forma” das voçorocas. As voçorocas são classificadas quanto ao tipo, através do modelo de Oliveira (1989) (FIGURA 21), quanto à forma pelo modelo de Vieira (2008), (FIGURA 22), por ser um modelo calibrado para a característica da região, e, quanto ao tamanho pelo modelo de Vieira e Albuquerque (2004), (QUADRO 4). Também, é observada a presença de feições de retrabalhamento, tais como: alcovas de regressão, painelas, marmitas, costelas e pedestais.

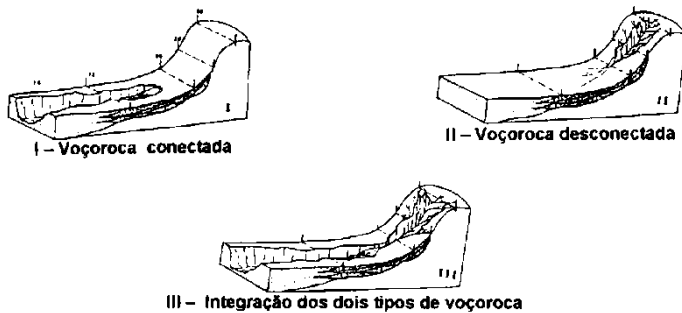


Figura 22: Tipos de voçorocas OLIVEIRA (1989).

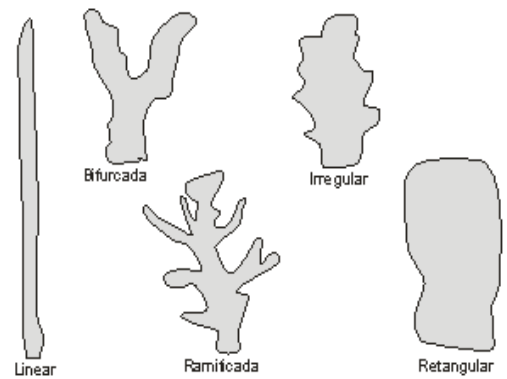


Figura 21: Formas de voçorocas (VIEIRA, 2008).

Quadro 4: 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).

4.4 Correlação das características pedo – hidro – geomorfológicas e da cobertura e uso da terra à ocorrência de processos erosivos

Esta etapa da pesquisa apresenta caráter quanti-qualitativo, em que trata da correlação entre fatores naturais e socioambientais. A primeira fase consistiu da análise das questões hidro-pedo-geomorfológicas, assim o termo se justifica devido à análise conjunta de fatores hidrológicos, pedológicos e da geomorfologia, ao considerar critérios como declividade, forma da encosta e características do solo. Foram usados os seguintes dados cartográficos:

- Mapa de declividade, gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) com cotas a cada 5 metros. Fonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Manaus (SEMMAS2012);

- Mapa de Formas do Terreno. Fonte: TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do Brasil – 2008.

Foram analisadas as características morfológicas (estrutura, resistência, presença de raízes e poros no solo), atributos físicos (resistência do solo à penetração, granulometria, densidade real e do solo, porosidade, e estabilidade dos agregados), propriedades químicas (pH, quantidade matéria orgânica e macro e micronutrientes do solo), assim como a capacidade de infiltração de água e aspectos biológicos (presença e ausência da fauna endopodônica, presença e tamanho de raízes).

Portanto, para realização das análises foram coletadas amostras de solo em pontos representativos das formas distintas de uso e ocupação da bacia, como áreas de floresta e áreas de solo exposto, sendo: um em área de floresta (Ponto 01) referente aos horizontes O e A; um em área de solo exposto (Ponto 02), referente ao horizonte B e outro em área que sofreu terraplanagem (Ponto 03), referentes ao horizonte BC. Entretanto, não foram coletadas amostras em área urbana consolidada, em função da elevada impermeabilização.

Nesse sentido, foram coletadas amostras com um trado holandês de 0-50 cm na camada superficial do solo, em intervalos de 10 cm para análises (granulometria, densidade real e do solo, porosidade, quantidade de matéria orgânica, pH, macro e micronutrientes). Concomitante à coleta de material para análise de estabilidade de agregados do *topsoil* (0-20 cm) a cada 10 cm e também realizados testes de resistência à penetração e de infiltração de água no solo. Abaixo segue a metodologia utilizada.

- Teste dos atributos físicos do solo – teste de infiltração e resistência à penetração
 - Teste de capacidade de infiltração de água no solo

O teste de infiltração foi realizado com intuito de aferir a capacidade da água em infiltrar no solo e qual o seu ponto de saturação. Com esses dados é possível inferir o quanto de água é necessário para o desencadeamento do escoamento superficial e conseqüentemente o início do processo erosivo. Esse dado pode ser relacionado com granulometria do solo, densidade real e do solo, porosidade e a resistência do solo à penetração.

A metodologia utilizada é baseada nos trabalhos de Hills (1970), usando o infiltrômetro de anel único, batizado com o seu nome (FIGURA 23). A cerca disso, Coelho Netto e Avelar (1996), Guerra (1996) e Brandão *et al.* (2003) afirmam que o cilindro deve ser cravado no solo,

com profundidade média de cinco centímetros, a altura entre o solo e o topo do tubo deve ser conhecida e mantida, pois é a partir dela que será calculado o volume infiltrado durante o ensaio.

Ademais, antes de se iniciar o teste, deve-se observar se o local a ser realizado tem estabilidade, retirar a camada vegetal mais superficial. Além disso, minutos antes do início do ensaio, deve umedecer ao redor do cilindro a fim de produzir o equilíbrio hidrostático (FROTA FILHO, 2016).



Figura 23: Infiltrômetro de Hills.

Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015

➤ Resistência à penetração

O teste com o penetrômetro de impacto serve para aferir a capacidade de resistência do solo à penetração ou a impactos diversos. Esse dado pode ser correlacionado com outras variáveis do solo, como granulometria, densidade real e do solo e porosidade.

O ensaio é executado com auxílio de uma haste metálica, na qual são aplicados verticalmente impactos, de um cilindro de massa conhecida (1 kg). A haste tem graduação a cada 05 cm e devem-se contar quantos impactos são necessários para que a mesma penetre cada intervalo (ROSS; FIERZ; VIEIRA, 2011). Em cada área, aconselha-se a execução de pelo menos três testes, a fim de se conseguir um valor médio.

- Coleta de amostras de solo

A coleta de amostras de solo tem como finalidade caracterizar o solo e determinar o potencial de erodibilidade nos contextos de uso da terra e suas relações na bacia (LEPSCH, 2009; CROZIER *et al.*, 2010).

Foram coletadas amostras em áreas de solo com cobertura vegetal (Ponto 1) e em solo exposto (Pontos 2 e 3) na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, sendo cinco amostras por ponto, totalizando 15 (FIGURA 24). Com o intuito de comparar características físicas (granulometria, densidade real, do solo, porosidade, umidade do solo); características químicas (pH em H₂O e KCl, macro e micronutrientes, matéria orgânica), enquanto que, os atributos biológicos do solo, como a presença da fauna e da flora edáfica são analisados *in situ*.

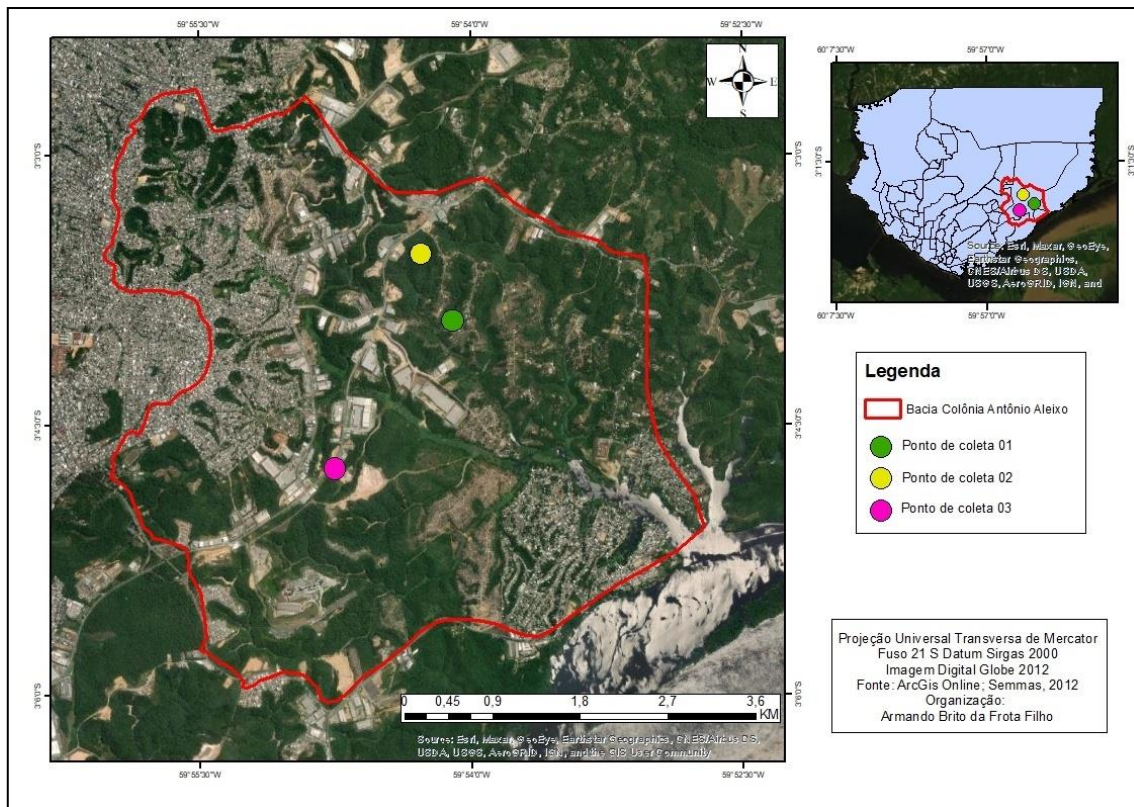


Figura 24: Localização dos pontos de coleta de solo na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus (AM). Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Essas amostras foram coletadas com o auxílio de trado holandês (FIGURA 25), a cada 10 cm até uma profundidade de 50 cm. Escolheu-se essa profundidade para verificar a possível correlação entre os dados dos testes de resistência à penetração do solo, além de ser a recomendada para estudos sobre erosão e conservação dos solos (GUERRA, 2014; GUERRA *et al*, 2017). As amostras coletadas tiveram suas cores aferidas em campo, de acordo com a *Munsell SoilColor Charts* (2016).



Figura 25: Trado holandês usado para coleta das amostras de solo

Foto: Armando Brito da Frota Filho 05/02//2011.

Assim sendo associadas às amostras deformadas coletadas com o trado, foram coletados blocos de solos, nas mesmas áreas, para análise de estabilidade dos agregados por via úmida, pelo método proposto por Yoder (1936), no qual, as mostras do solo são coletadas, não deformadas, com dimensões de 10cmx10cmx10cm, do *topsoil*, ou seja, de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm.

Também foram coletadas amostras de sedimento coluvial do interior nas profundidades de 00 a 30 cm: (i) amostra na base da voçoroca (referência), e (ii) no interior da voçoroca (sedimento sob influência de depósitos de resíduos, com geração de chorume), onde há depósitos de resíduos sólidos. Estas amostras, também passaram por análises físicas, químicas, mineralógicas, além de bioensaios de toxicidade.

As amostras foram analisadas em triplicata para a adequada averiguação dos resultados obtidos e realização dos testes estatísticos.

- Análises físico-químicas do solo

As amostras foram identificadas para análise em laboratórios: LATOSSOLO –; Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e Solos - DEGEO/UFAM; Laboratório Temático de Solos e Plantas – INPA; Laboratório de Geografia Física – UFRJ.

Em seguida, as amostras brutas ou deformadas passaram pelo processo de secagem ao ar, peneiradas para separação de cascalhos e frações maiores, resultando na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), depois destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para serem quarteadas, separando-se 20 gramas em um béquer.

A quantidade de argila foi aferida, por meio do método pipetagem (EMBRAPA, 2017) (FIGURA 26). As areias foram fracionadas, através do peneirador mecânico e do jogo de peneiras, utilizando-se um total de quatro peneiras de malhas de tamanhos diferentes (1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; e 0,125 mm), correspondendo, respectivamente, às frações de areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina, pesando cada porção retida nas peneiras separadamente, com exceção da areia muito fina, a qual é obtida quando esta passa pela malha da peneira 0,125 mm. A quantidade de silte é determinada através da subtração da quantidade de argila e areia do total analisado.

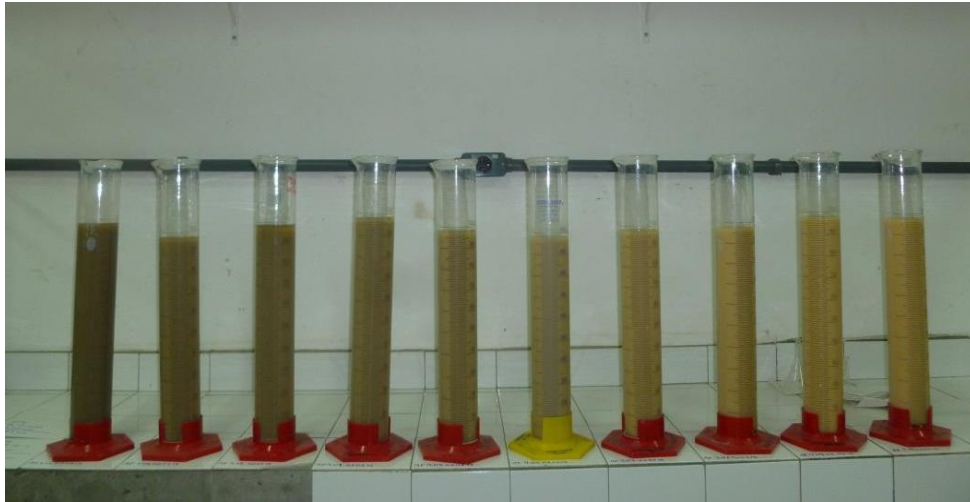


Figura 26: Amostras em processo de decantação da argila. Método da EMBRAPA (2017).

Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2015

Após a obtenção dos percentuais de argila, silte e areia classificaram-se a amostra pela sua textura, por meio do Triângulo de Classes Texturais do Solo, usado pela Embrapa e pelo SiBCS - (FIGURA 27).

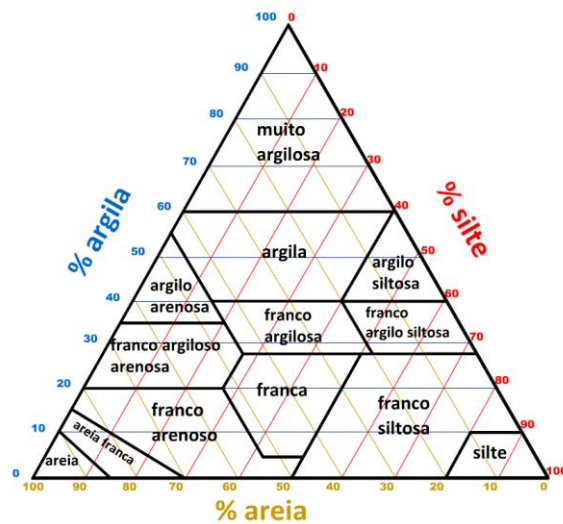


Figura 27: Triângulo de Classes texturais do Solo.¹²

➤ Densidade Real (D_r) ou da partícula

¹² <http://www.quoos.com.br/index.php/geografia/solos/4-triangulo-textural-solos-argila-areia-silte>

Na Densidade Real (D_r) é utilizado o mesmo material coletado para as análises granulométricas. A determinação da Densidade Real (D_r) dos solos se dá pelo método do balão volumétrico, no qual é pesado 20g de solo e este é posto na estufa por um período de 6 a 12 horas, a fim de obter o peso da amostra seca a 105°C.

Depois a amostra é transferida para o balão volumétrico de 50 ml, onde é adicionado álcool etílico agitando-o para eliminar as bolhas de ar formadas. Prossegue-se com esta operação até a ausência de bolhas e completar o volume do balão (EMBRAPA, 2017). Calcula-se a Densidade Real, a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Densidade Real (g /cm}^3\text{)} = a / 50 - b$$

Onde:

$$a = \text{peso da amostra seca a } 105^\circ\text{C}$$

$b = \text{volume de álcool gasto}$

➤ Densidade do solo (D_s) ou aparente

Conforme descrito pela EMBRAPA (2017), quanto ao procedimento para o cálculo da Densidade Aparente do solo é necessário colocar 35ml de amostra de solo em um balão volumétrico de 50ml, em seguida compactar o solo batendo a proveta em um lençol de borracha. Repete-se essa operação até que o nível da amostra fique nivelado com traçado do aferimento do balão. Posteriormente, afere-se o peso da amostra no solo. Calcula-se densidade aparente, a partir da seguinte fórmula (EMBRAPA, 2017):

$$\text{Densidade do solo (g /cm}^3\text{)} = a / b$$

Onde:

$$a = \text{peso da amostra seca a } 105^\circ\text{C}$$

$$b = \text{volume da proveta}$$

➤ Porosidade Total

É aferida por meio do cálculo da Densidade Real (D_r) e da Densidade Aparente (D_a) (EMBRAPA, 2017).

Cálculo:

$$Pt = 100 (a - b) / a$$

Onde:

$$a = \text{Densidade Real}$$

b = Densidade Aparente

➤ Relação silte/argila

Este parâmetro é calculado por meio da divisão dos teores de silte pelos de argila, obtidos por meio da análise granulométrica. A relação silte/argila serve como base para avaliar o estágio de intemperismo presente em solos de regiões tropicais (SILVA *et al.*, 2019).

Nesse sentido, o Manual de Pedologia do IBGE (2015) e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018) trabalham com esse parâmetro, dessa forma, o último indica que se refere ao alto grau de intemperismo quando apresenta valor inferior a 0,7 nos solos de textura média ou valor inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa ou muito argilosa.

➤ Umidade Gravimétrica (UmG)

A umidade gravimétrica consiste da umidade do solo em determinado momento. A amostra para a UmG é coletada à profundidade de 0 a 10 cm, nas proximidades do local de cada tradagem e dos testes de infiltração. É necessário colocar uma quantidade de amostra com peso conhecido na estufa com temperatura entre 105-110°C, por 24 horas (EMBRAPA, 2017), para determinar o teor de umidade presente na amostra, que é calculado, a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Umidade Gravimétrica} = 100 (a - b) / b$$

Onde:

a = peso da amostra úmida (g)

b = peso da amostra seca (g)

➤ Estabilidade dos agregados por via úmida

Para a análise dos agregados foi utilizada a metodologia proposta por Yoder (1936), com intuito de medir a quantidade e tamanho dos agregados que são estáveis em água, compreendendo sua estabilidade e resistência.

Em laboratório, os agregados foram secos ao ar, em seguida levemente destorroados manualmente em peneira com malha de 04 mm. Em seguida, foi pesado 25 g de agregados, em triplicata, cuja duas amostras de 25 g cada, são postas no jogo de peneiras (2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,250 mm; 0,125 mm) e uma amostra irá para estufa a 105°C.

O teste consiste em submeter as amostras às oscilações verticais em água, com frequência de 32 movimentos por minuto, por 15 minutos. Em seguida, o material retido em cada peneira é separado e posto a 105° C, por 24 horas.

Então, os valores obtidos após cada pesagem foram utilizados para cálculo do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) (CASTRO FILHO *et al.*,1998). O DMP é diretamente proporcional à quantidade de agregados grandes que ficam retidos nas peneiras com malhas maiores. O DMG diz respeito à estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência. O IEA está relacionado à medida da agregação total do solo, não considera a distribuição por classes de agregados (CASTRO FILHO *et al.*,1998; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

➤ pH do solo

A verificação do pH do solo é realizada pelo método da EMPRABA (2017), a partir da solução de 10ml da amostra com o reagente. Foram usados H₂O e KCl, depois a solução foi homogeneizada e em seguida permaneceu em repouso por uma hora, os eletrodos ficaram submersos e a leitura foi realizada.

➤ Macro e Micronutrientes

Para os macronutrientes é utilizada a solução KCl, sendo pesada 5g de solo seco, adicionando-se 50ml da solução. Então, a amostra foi agitada por 15 minutos e filtrada por 12 horas. Nesse processo foram obtidos os valores de cálcio e magnésio.

Quanto ao valor do alumínio, sendo pipetado 25ml da solução do filtro, adicionado três gotas de azul Bromotimol e Hidróxido de Sódio (NaOH) até que a cor da solução seja modificada (EMPRABA,1997).

Para os micronutrientes do Solo (P, K, Fe, Zn e Mn) são determinados com a extração de duplo ácido (método de Melinch), em que são pesadas 5g de amostra seca de solo seco, adicionadas 50ml da solução extratora de duplo ácido (25ml de ácido clorídrico-HCl mais 25ml de ácido sulfúrico-H₂SO₄, diluídos em 1L de água destilada). Em seguida, a amostra foi agitada por 15 minutos e filtrada.

Depois com o material filtrado é organizado o processo para a leitura do fósforo; dessa forma, sendo adicionado 5ml da solução extratora de duplo ácido, 1ml de molibdato de amônio e 1ml de ácido ascórbico (vitamina C). Agita-se a amostra que fica em repouso por 30 minutos para realizar a leitura de fósforo.

Os demais micronutrientes (Fe, Zn e Mn) são aferidos, por meio da diluição de 2ml do extrato com 8ml de água destilada, posteriormente agitados e a realização da leitura (EMPRABA,2017).

➤ **Matéria orgânica – Método Indireto**

A TFSA é passada em peneira de malha 0,180 mm e o material fino peneirado é o que se usa no experimento. Deste material de solo triturado são pesados 0,5g em erlenmeyer, em seguida adiciona-se 10 ml da solução de dicromato de potássio. Após, adiciona-se uma pequena pitada de sulfato de prata a cada amostra em análise e agita-se o recipiente deixando em repouso, durante cinco minutos.

Em seguida são adicionados 50 a 80 ml de água destilada, 2 ml de ácido ortofosfórico e 3 a 4 gotas de difenilamina. Então, inicia-se o processo de titulação com sulfato ferroso amoniacal até que haja alteração da coloração para verde. Deve-se anotar o volume gasto no processo, pois, é a partir dele que é calculado o carbono orgânico e a matéria orgânica em g/kg:

$$C \text{ (g/Kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6;$$

onde:

$$f = (40/\text{volume gasto de sulfato ferroso para o branco}).$$

O teor de matéria orgânica é calculado multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724. Esta constante é utilizada, pois se admite que a matéria orgânica humificada seja composta por 58% por carbono orgânico ((EMBRAPA, 2017) Assim, a expressão para obter indiretamente o teor de matéria orgânica do solo, utilizando o teor de carbono orgânico, é:

$$MO \text{ (\%)} = C \times 1,724$$

➤ **Morfologia do solo**

A morfologia do solo foi analisada, a partir da metodologia descrita no Manual de Pedologia (IBGE, 2015). Assim, foram analisados os seguintes parâmetros qualitativos: estrutura, consistência, raízes e poros.

▪ **Estrutura**

De acordo com Lepsch (2002) e IBGE (2015), a estrutura do solo consiste da forma de arranjo das partículas do solo, podendo ou não desenvolver agregados. A estrutura pode ser definida em macro e microestrutura. Segundo IBGE (2015), a macro estrutura do solo, ou seja, a que é possível distinguir e definir em campo e sem aparelhos, é definida conforme sua forma (tipo de estrutura – Figura 28), grau de desenvolvimento (grau de estrutura) e tamanho (classe de estrutura), observado no quadro 5 e 6.

Quadro 5: Caracterização dos tipos de estrutura do solo.

Caracterização dos tipos de estrutura		
Ausência de agregação das partículas	01	O material se apresenta em partículas individualizadas, sem coesão entre si.
	02	Há coesão entre as partículas, mas elas se apresentam como uma massa contínua, uniforme, sem que se consiga individualizar agregados naturais.
	03	Neste caso, a estrutura deve ser registrada como maciça.
Presença de agregação entre as partículas	Arranjam-se em formatos específicos e são assim caracterizados pelo grau, tipo e tamanho Graus: Sem agregação, moderada, forte. Tipo: grãos simples, granular, laminar, blocos (subangulares ou angulares), cuneiforme, prismática, colunar, maciça.	

Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018. Baseado no Manual de Pedologia do IBGE (2015).








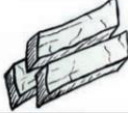



Material de solo agregado					
Tipo	Subtipo	Exemplo	Tipo	Subtipo	Exemplo
Granular	Granular		Prismática	Prismática	
	Grumosa				
Blocos	Angulares			Colunar	
	Subangulares				
Laminar			Paralelepipedica		
Cuneiforme					
Material de solo não agregado					
Tipo	Exemplo		Tipo	Exemplo	
Grãos simples			Maciça		

Figura 28: Exemplos de tipos de estruturas: Fonte: IBGE 2015.

Quadro 6: Classes de estruturas segundo a forma da estrutura do solo.

Classes	Critérios (mm)		
	Granular e Laminar	Colunar, Prismática e Cuneiforme	Blocos angulares e subangulares
Muito pequena	< 1	< 10	< 5
Pequena	1 a < 2	10 a < 20	5 a < 10
Média	2 a < 5	20 a < 50	10 a < 20
Grande	5 a < 10	50 a < 100	20 a < 50
Muito grande	>10	100 a < 500	> 50
Extremamente grande	-	> 500	-

Fonte: IBGE, 2015. Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.

- **Consistência**

Conforme Lespch (2002):

“No interior dos agregados, às partículas de areia, silte e argila, aderem umas às outras, sendo assim mantidas unidas com diferentes graus de adesão. Isto faz com que uns solos

sejam mais macios e outros mais duros. A resistência do material do solo, em estado natural, a alguma força que tende a rompê-los é conhecida como *consistência* e, na prática, é determinada pressionando-se um agregado ou torrão de determinado horizonte do solo entre os dedos.”
(LESPECH,2002).

Assim, o grau de consistência de um determinado solo, varia em função de características como, matéria orgânica, óxidos de ferros, teor de umidade (IBGE, 2015). E para tal, esse parâmetro é determinado em três estados de umidade:

- a) seco – para verificação de dureza ou tenacidade;
- b) úmido – para verificação de friabilidade;
- c) molhado – para verificação da plasticidade e pegajosidade.

Neste sentido, a dureza foi aferida por meio da compressão de um torrão de solo entre o polegar e dedo indicador (IBGE, 2015), como mostra na figura 29. E a análise do grau de dureza pode ser observada no quadro 6, síntese.



Figura 29: Teste de consistência (dureza).
Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018

Assim, a Friabilidade é avaliada em estado de umidade, aproximadamente, intermediário entre seco ao ar e a capacidade de campo. A resistência da amostra de solo diminui com o aumento do conteúdo de água e a precisão das descrições de campo dessa forma de consistência é limitada pela precisão da estimativa do conteúdo de água na amostra. Para avaliação dessa consistência, deve-se selecionar e tentar esboroar entre o polegar e o indicador uma amostra (torrão) que esteja ligeiramente úmida (IBGE, 2015), como no quadro 6.

Para determinação da plasticidade, rola-se depois de amassado o material do solo entre o indicador e o polegar e observa-se se pode ser feito ou modelado um fio ou cilindro fino de solo, com cerca de 4 cm de comprimento (IBGE,2015), conforme figuras 30 e 31, e o parâmetro pode ser observado no quadro 6, que sintetiza as características e graus de consistência nos três estados de umidade.

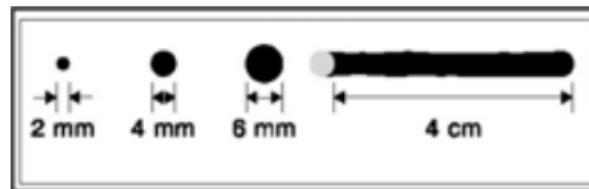


Figura 30: Critérios para determinação da plasticidade. Fonte: IBGE, 215



Figura 31: Cilindros feitos com as amostras. Em papel milimetrado com escala de 1cm.
Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018

Quanto a Pegajosidade é a propriedade que pode apresentar a massa do solo de aderir a outros objetos. Para sua avaliação, a massa do solo quando molhada e homogeneizada é comprimida entre o indicador e o polegar e a aderência é então observada (IBGE, 2015). Os graus de pegajosidade são descritos no quadro 07.

Quadro 7: Parâmetros para análise de consistência do solo.

Consistência				
Graus	Seca (Dureza)	Úmida (Friabilidade)	Molhada	
			Plasticidade	Pegajosidade
	Solta	Solta	Não plástica	Não pegajosidade
	Macia	Muito friável	Ligeiramente plástica	Ligeiramente pegajosa
	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica	Pegajosa
	Dura	Firme	Muito plástica	Muito pegajosa
	Muito dura	Muito firme	-	-
	Extremamente dura	Extremamente firme	-	-

Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018. Fonte: IBGE, 2015.

- Raízes e poros

A descrição de raízes e poros se dá com base na observação da amostra indeformada e a presença dos materiais citados, tanto em termos quantitativos (quantidade), quanto

qualitativos (tamanho e distribuição). Para ambos os casos foi seguida a metodologia descrita no Manual de Pedologia do IBGE (2015), como exemplificado nas figuras 32 e 33 com base nos parâmetros descritos no quadro 08.



Figura 33: Observação da presença e tamanho. Distribuição dos poros escala papel de 1 cm por quadrado Foto: Amando Brito da Frota Filho, 2018



Figura 32: Observação da presença e distribuição das raízes. Foto Amando Brito da Frota Filho, 2018.

Quadro 8: Parâmetros de classificação dos poros e raízes do solo

Parâmetros para classificação de raízes e poros no solo				
Classes	Quantidade		Tamanho	
	Pouco	< 1 por unidade de área	Muito finas	< 1mm
Comuns	1 a 5 por unidade de área	Finas	1 a < 2mm	
Abundantes	> 5 por unidade de área	Médias	2 a < 5mm	
-	-	Grossas	5 a < 10mm	
-	-	Muito grossas	≥ 10mm	

Org. Amando Brito da Frota Filho, 2018. Fonte: IBGE, 2015

- **Ocupação e mudanças antrópicas da paisagem**

A caracterização da paisagem tem caráter qualitativo e descritivo, com base na abordagem sistêmica (CHRISTOFOLETTI 1979; 1980; 1981; 1999; RODRIGUES, 2005; RODRIGUEZ *et al.*, 2010), na qual foram observados aspectos em relação às formas e padrões do relevo e quais os agentes naturais que se apresentam mais atuantes na dinâmica (CROZIER *et al.*, 2010). A exemplo disso será observada a presença e recorrências de feições erosivas lineares do tipo ravina e voçoroca na área.

Quanto aos aspectos da paisagem antrópica (urbana) foram observadas as tipologias de ocupação da área, tendo como base critérios de ocupação por indústrias ou moradias, trazendo

como questão a “validação de campo”, referentes a dados secundários de imagens de satélite da área, dados de fonte documental e iconográfica (GOODCHILD, 2010; MARTIN; PAVLOVSKAYA, 2010; SCHEIN, 2010; STOW, 2010).

Como dito anteriormente, a paisagem é uma categoria de análise geográfica na qual seus componentes naturais e antroponaturais são indissociáveis (RODRIGUEZ *et al.*; SILVA, 2010), ou seja, por mais que inicialmente os aspectos físicos e humanos sejam observados separadamente, ao fim, eles são analisados conjuntamente.

Em um segundo momento, no trabalho de campo, foram observadas as correlações não lineares de fluxos. No caso, como o processo de urbanização ou mesmo como os aspectos humanos e sociais pontuais estão afetando a dinâmica natural e como os processos naturais de resposta do ambiente impactam algum grupo social (ROBBINS, 2010).

Como exemplo, podemos elencar os trabalhos de Tucci e Collischonn (1998) Vieira (2008), Guerra *et al.* (2017), Poesen (2017), que observam a relação da construção de canaletas e o desenvolvimento de feições erosivas. Vale destacar, que o contrário também acontece, envolvendo o processo de crescimento das voçorocas, os quais afetam as habitações e aparelhos urbanos próximos às incisões (FROTA FILHO, 2016).

4.5 Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas

Esta fase consistiu na mensuração de impactos, em que foram observadas quais as consequências diretas e indiretas das incisões, como assoreamentos de canais e incisões que foram transformadas em lixões

Assim ocorreu a caracterização e mapeou-se os tipos de depósitos tecnogênicos formados no interior das voçorocas, conforme classificação de Peloggia (1998), de acordo com sua composição (úrbicos, gárbicos, espólicos e dragados). Foram coletadas duas amostras de material nas profundidades de 0-30 cm, uma em área de depósitos sedimentos de voçoroca (incisão 3) e outra em depósito tecnogênico gárbico e úrbico em voçoroca que foi alterada por meio de maquinário.

Foram analisadas as características e possíveis mudanças nas propriedades físico-químicas (granulometria, densidade real e do solo, porosidade, quantidade de matéria orgânica, pH, macro e micronutrientes e de metais pesados) e biológicas do sedimento sob influência de depósitos tecnogênicos. Para tanto, realizou-se ensaios com bioindicadores no Laboratório ECOTOX – Laboratório de Ecotoxologia – UFRJ.

- Ensaio com bioindicadores

Os bioensaios agudos com minhocas (*Eisenia andrei*) foram aplicados aos sedimentos (natural e antropogênico) para avaliar a toxicidade de eventuais contaminantes, com base nas normativas apresentadas pela ASTM (2004)¹³. Dessa forma, foram utilizados três ensaios: (i) uma amostra de solo padrão, de características físicas e químicas conhecidas; (ii) uma amostra na base da voçoroca (referência); e (iii) outra no interior da voçoroca¹⁴, na área do terço médio (sedimento sob influência de depósitos de resíduos, com geração de chorume), onde há depósitos de resíduos sólidos.

Neste sentido, foram realizadas quatro repetições para cada amostra, a fim de realizar testes estatísticos, o qual consistiu do uso de 10 minhocas para cada recipiente, ou seja, 40 por amostra. Elas tiveram o peso aferido antes do início do teste, expurgam todo material no seu trato digestivo por 24 horas, e em seguida, são postas em recipientes com 1 kg de solo (CESAR *et al.*, 2015, 2017a, 2017b).

O teste teve duração de 14 dias, no qual, as minhocas ficaram no solo e foram hidratadas em intervalos de 07 dias. Ao fim do experimento foi contabilizada a quantidade de indivíduos por recipiente e o peso médio destes. A correlação entre as amostras (padrão, referência e sob influência de chorume) dos ensaios foi realizada, a partir de dados como mortes e perda ou ganho de massa corporal (FIGURA 34).



Figura 34: Inserção de minhocas *Eisenia andrei* em recipientes com solo contaminado.

A dose de sedimento no solo capaz de causar a morte de 50% dos organismos expostos foi quantificada, através da análise de PriProbit. Diferenças significativas entre os efeitos observados nos solos tratados com os resíduos e o solo-controle (sem adição de resíduo) foram avaliadas, por meio do teste estatístico de Kruskal-Wallis.

¹³ASTM - American Society for Testing and Materials. 2004. Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity or Bioaccumulation Tests with the Lumbricid Earthworm *Eisenia fetida* and the Enchytraeid Potworm *Enchytraeus albidus*.

¹⁴ Essa incisão perdeu todas as características de uma voçoroca, como fundo plano e paredes verticais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados, referentes às alterações na geomorfologia original e suas influências na aceleração do desenvolvimento de processos erosivos na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. Os resultados estão dispostos nos seguintes tópicos:

- Cobertura e uso da terra e suas influências no processo erosivo, na bacia Colônia Antônio Aleixo (2001 a 2019);
- Estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos;
- Mapeamento e monitoramento das voçorocas da área de estudo;
- Correlação das características pedo-hidrogeomorfológicas e da cobertura e uso da terra à ocorrência de processos erosivos;
- Impactos ambientais relacionados às voçorocas;
- Proposta de classificação do relevo antropogênico na bacia.

5.1 Cobertura e uso da terra e suas influências no processo erosivo

Neste capítulo são apresentados os resultados, referentes às alterações na geomorfologia original e suas influências na aceleração do desenvolvimento de processos erosivos na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. Os resultados estão dispostos nos seguintes tópicos:

- Cobertura e uso da terra e suas influências no processo erosivo, na bacia Colônia Antônio Aleixo (2001 a 2019);
- Estágios de urbanização e suas conseqüentes alterações nos processos hidrogeomorfológicos;
- Mapeamento e monitoramento das voçorocas da área de estudo;
- Correlação das características pedo-hidrogeomorfológicas e da cobertura e uso da terra à ocorrência de processos erosivos;
- Impactos ambientais relacionados às voçorocas;
- Proposta de classificação do relevo antropogênico na bacia.

5.1.1 Evolução da cobertura e uso da terra entre 1999 e 2010 na cidade de Manaus e sua influência no processo de urbanização na bacia Colônia Antônio Aleixo

A caracterização da cobertura e uso da terra da cidade de Manaus consistiu na análise de imagens do satélite Landsat 7, referente aos anos de 1999 e 2010. Ao se considerar a resolução espacial de 30 metros do satélite, objetos e feições menores que isso não são bem representadas, e isso ocorre com a classe da água.

Em 1999, a área urbanizada era de 298,53 km², equivalente a 50,31% da área total, enquanto a área com cobertura vegetal era de 289,05 km² (48,71%), o restante foi classificado como massas de água (FIGURA 35). A maior parte da vegetação está localizada nos contornos da cidade, nas zonas leste, oeste e norte. Nesta última, o fragmento florestal urbano da Reserva Florestal Adolpho Ducke exerce função de barramento da expansão urbana da cidade, o que faz com que ela seja visualmente delimitada como um quadrado nos mapas.

Baccaro *et al.* (2008) explicam que:

No ano 2000, a expansão urbana da cidade de Manaus havia chegado aos limites da Reserva Ducke. Atualmente, bairros populares fazem contato com a borda sul da reserva, e a floresta no entorno das bordas leste, norte e, especialmente, oeste, se encontra fragmentada e degradada. (BACCARO *et al.*, 2008, p.07)

Esta dinâmica se repete com os demais fragmentos florestais da cidade, como a APA do campus Universitário da UFAM, as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) Dr. Daisaku Ikeda com 0,52 km², que é parte da mancha de vegetação, localizada no setor sudeste da bacia. Além de ser algo que acontece com maior intensidade nas áreas verdes que não são classificadas como unidades de conservação, estas sofrem com a pressão de crescimento da mancha urbana, o que ocasiona o efeito de borda nestas áreas, além de eventualmente serem reduzidas pela invasão da população e construção de habitações.

Isso fica mais explícito ao se observar a figura 36, referente ao mapa da cidade do ano de 2010, pois uma das direções do crescimento urbano é a zona leste de Manaus. Diferentemente da zona norte, com a reserva Ducke, que é legalmente protegida e fiscalizada, as áreas verdes, na zona leste da cidade, carecem de mais política públicas voltadas à preservação, pois não são classificadas como UCs, apenas estando englobadas como Áreas de Preservação Permanente.

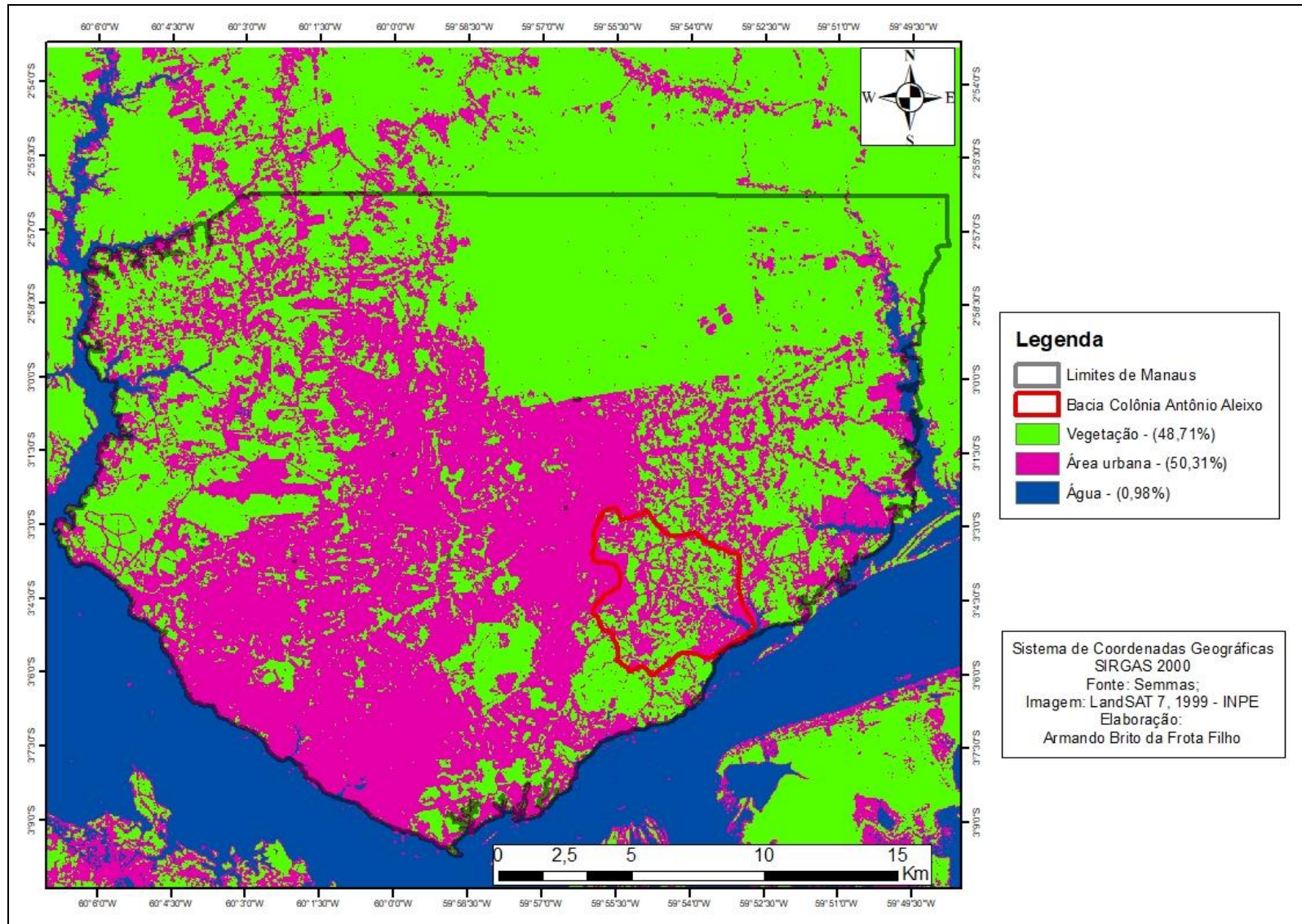


Figura 35: Mapa de cobertura e uso da cidade de Manaus, com destaque à bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, em vermelho, referente ao ano de 1999; Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021. Fonte de dados: Inpe (1999).

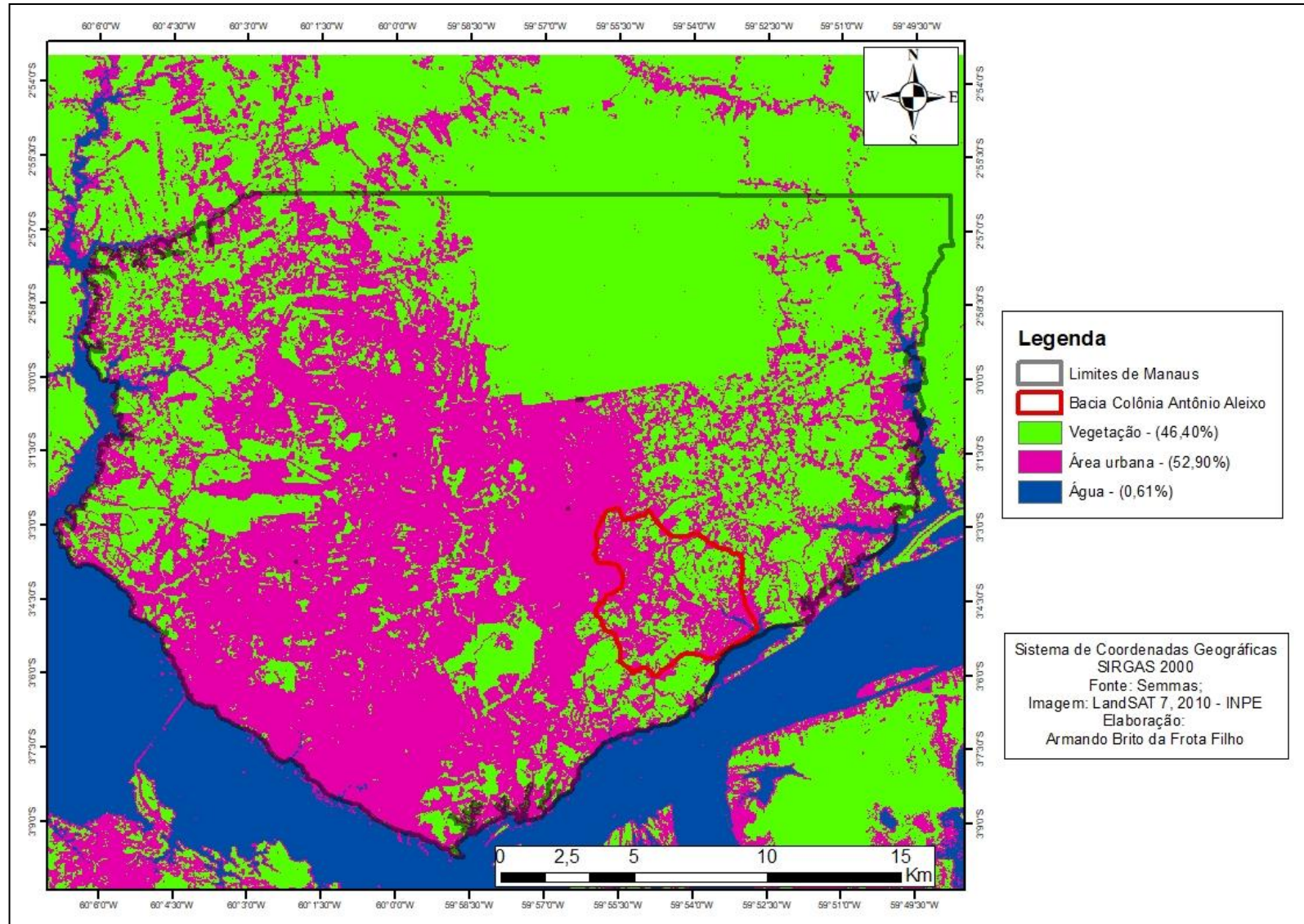


Figura 36: Mapa de cobertura e uso da cidade de Manaus, com destaque à bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, em vermelho, referente ao ano de 2010: Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: Inpe (2010).

Em 2010, a área urbanizada da cidade de Manaus era de 314,46 km² (52,99 %) da área total, enquanto a área com cobertura vegetal era de 275,33 km² (46,40%), em termos de área de vegetação reduziu em 13,72 km² (4,74%), enquanto a área urbanizada cresceu em 15,93 km² (5,33%), como pode ser visto na Tabela 5 e Gráfico 3. A massa d'água também apresentou mudança, perdendo 2,21 km², dinâmica que pode ser atribuída à redução da vegetação e conseqüente redução das Áreas de Preservação Permanente, como nascentes, processo de aterramento de canais e assoreamento (FROTA FILHO; LOUZADA, 2018), visto que ambas imagens são do mesmo período hidrológico, época de estiagem. Estas últimas descritas por Rodrigues (2011) como modificações do relevo diretas e indiretas, respectivamente.

Tabela 5: Dados de cobertura e uso da terra da cidade de Manaus.

Temas	1999		2010	
	(km ²)	%	(km ²)	%
Água	5,83	0,98	3,62	0,61
Vegetação	289,05	48,71	275,33	46,40
Urbanização	298,53	50,31	314,46	52,99
Total	593,41	100	593,41	100

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

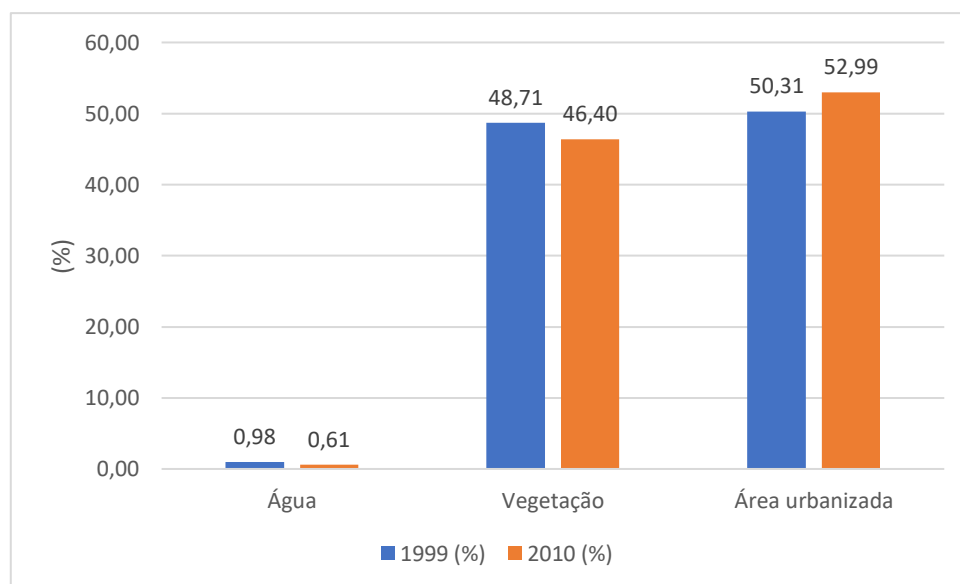


Gráfico 3: Cobertura e uso da terra da cidade de Manaus.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

A pressão que a zona leste de Manaus suporta pelo crescimento urbano foi descrito por Costa e Oliveira (2008), por ser uma área ainda pouco habitada e de relativa fácil

ocupação como as planícies de inundação, e os platôs, assim esta vem perdendo áreas verdes, no decorrer dos anos, para o processo de urbanização.

5.1.2 Evolução da cobertura e uso da terra e urbanização entre 2001 a 2018 na bacia Colônia Antônio Aleixo

A contaminação dos ambientes, terrestres e/ou aquáticos, em razão das atividades do homem, está entre as maiores preocupações em termos geográficos, ecológicos e geomorfológicos. Isso se deve a má gestão dos usos do solo, associada ao crescimento populacional e sua necessidade de moradia e espaços urbanos comuns, tendo como consequência o decréscimo da qualidade dos corpos hídricos e do solo, de forma geral. Desse modo, o processo de monitoramento, análise e caracterização do processo de cobertura e uso da terra são importantes para melhor planejamento e gestão do território, assim como monitoramento de áreas com fragilidade ambiental e/ou áreas de risco (DREW, 2010; FROTA FILHO, 2016).

A caracterização da evolução da cobertura e uso da terra na bacia consistiu na análise de imagens do satélite Landsat 7, referentes aos anos de 2001, 2007, 2013 e 2018. A bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, localizada na zona leste de Manaus, tinha área de 24,93 km². Na figura 4, indicativo ao ano de 2001, a área com cobertura vegetal era de 11,86 km² (47,56%), urbanizada com 6,28 km² (25,24%), de solo exposto com 5,37 km² (21,54%) e a massa de d'água com 1,42 km² (5,69%).

Em 2001, a área com vegetação é bem distribuída na bacia (FIGURA 37), enquanto as zonas de urbanização se localizam a jusante da bacia, sendo que um dos primeiros pontos de sua ocupação, que remete ao início do século XXI, pelo “leprosário da colônia Antônio Aleixo”, e a outra grande parcela de urbanização está na porção noroeste da bacia, que foi ocupada pelo crescimento urbano da década de 1980. A área com solo exposto está espalhada pela bacia, com sua maior mancha próximo ao terço médio, à margem direita do canal principal.

No primeiro ano de análise, os canais e tributários na porção à montante não são perceptíveis, estando em galerias, aterrados ou assoreados. Isso revela como as políticas públicas de habitação e a estreita relação com o ambiente, que como mostra a historicidade da ocupação, são ignoradas. As práticas apresentadas estão centradas em

aterramentos dos igarapés, visto que essa dinâmica ocorreu na área central da cidade (PENNINGTON, 2000; OLIVEIRA, 2008) e se repete na bacia.

Em 2007, houve mudança na dinâmica de cobertura e uso da terra (FIGURA 38), onde a área com vegetação reduziu de 11,86 km² (47,56 %), para 10,96 km² (43,95%), representando uma redução de 0,9 km² em relação ao ano de 2001. A classe de solo exposto também apresentou a mesma dinâmica, de 5,37 km² para 4,62 km² (18,55%), com perda de 0,75 km². Essas porções perdidas foram aglutinadas pelo crescimento da mancha de área urbanizada, de 6,28 para 7,94 km² (31,85%), com ganho de 1,66 km², aumento de 26,34% em relação ao ano de 2001.

Quanto à área com cobertura vegetal, faz-se necessário explicar que, além de ter sido reduzida no intervalo entre 2001 e 2007, houve mudanças de posição entre algumas manchas de solo exposto e de cobertura vegetal. Isso significa dizer que áreas antes vegetadas se tornaram solo exposto, e que áreas de solo exposto desenvolveram algum tipo de vegetação. Contudo, no último caso, essa vegetação é incipiente, ou seja, sua capacidade de proteção do solo é menor, por se tratar de estratos vegetais de menor dimensão, e mais espaçados, diferente de uma vegetação primária e/ou clímax como a que existia, em 2001.

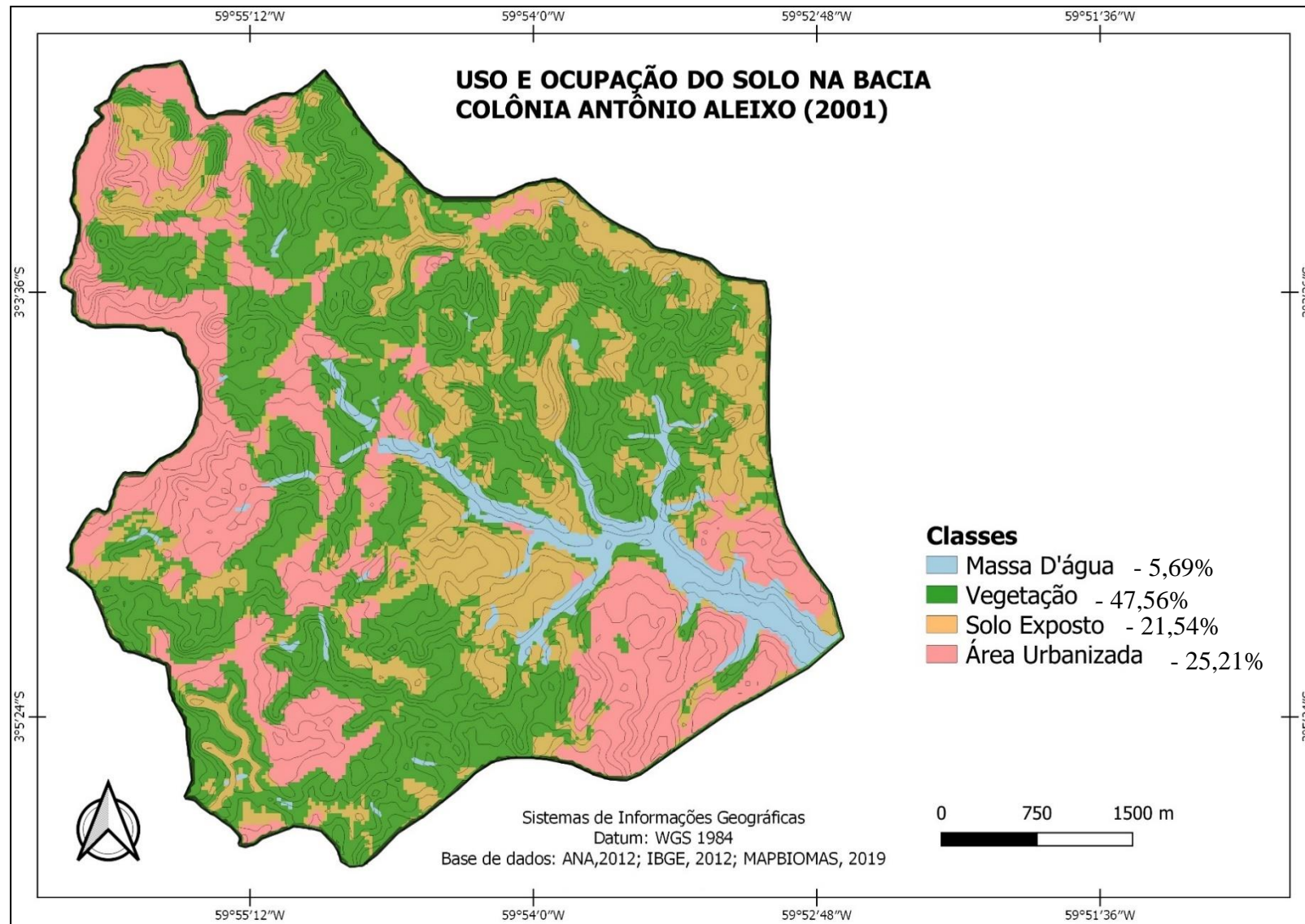


Figura 37: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2001: Elaboração: Guilherme Vilagelim e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomas 2001.

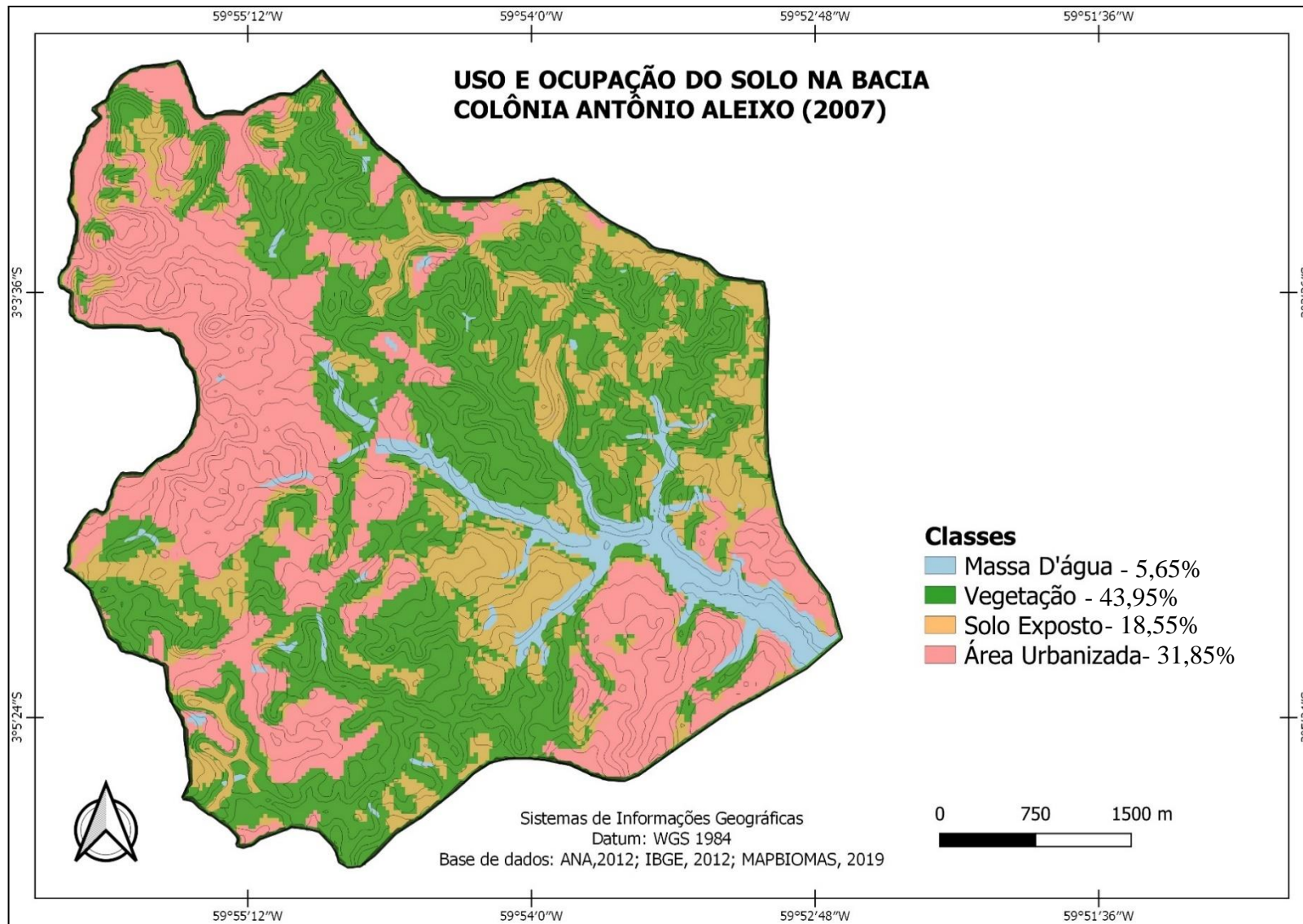


Figura 38: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2007: Elaboração: Guilherme Vilagem e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomas 2007.

A figura 39 apresenta o mapa de cobertura e uso da terra, referente a 2013, com a classe de solo exposto tendo reduzido de 4,62 km² para 2,56 km² (10,28%). Esses 2,06 km² de diferença foram sobrepostos pela área urbanizada que alcançou 8,77 km² (35,18%), aumentando em 0,83 km² (10,46% em relação a 2007), e a vegetação que expandiu de 10,96 pra 12,22 km² (49,01%).

Na borda da bacia, ao lado esquerdo, área do terço médio e inferior, a vegetação se sobrepôs à área de solo exposto, contudo o que deve ser avaliado é a qualidade dessa cobertura vegetal, visto que se trata de vegetação recente. Tal tipo de vegetação não apresenta a mesma capacidade de interceptação da chuva e redução de sua energia cinética quando comparadas às vegetações primárias. Visto que, no contexto do processo erosivo, cobertura vegetal com maior porte e com raízes maiores tendem a desenvolver solos com maior capacidade de infiltração, e conseqüentemente redução no processo erosivo.

Em 2018, representado pelo mapa da figura 40, a área referente à classe de vegetação reduziu de 12,22 km² para 10,19 km² (10,28%), o que equivale à redução de 2,02 km² (16,57% em relação a 2013), enquanto as classes de solo exposto e área urbanizada cresceram de 2,56 km² para 3,33 km² (13,36%) e de 8,77 km² para 9,99 km² (40,08%), respectivamente. Conforme dados na tabela 6 e gráfico 4, referentes aos usos e ocupação nos anos de 2001, 2007, 2013 e 2018, houve mudança significativa entre o primeiro e último ano analisados, com exceção da classe de água, a qual teve pouca variação, pois foi utilizada a mesma estação e meses para a análise dos referidos anos. A primeira análise que pode ser feita é sobre a vegetação que reduziu de 11,86 km² (47,56%) para 10,19 km² (40,89%), diminuição de 1,66 km². E ao se somar as perdas de vegetação, nos anos de 2001, 2013 e 2018, o acumulado é de 4,59 km².

Ao se considerar que em todos os anos houve mudança na distribuição da cobertura vegetal na bacia, pode-se entender que a vegetação de 2001 perdeu em termos quantitativos (área total) e qualitativos, visto que os estratos menores se tornaram predominantes. Isso ocorre em face da alternância entre áreas de solo exposto e de cobertura vegetal, ou seja, áreas vegetadas foram desmatadas, e área de solo exposto tiveram recuperação da cobertura vegetal.

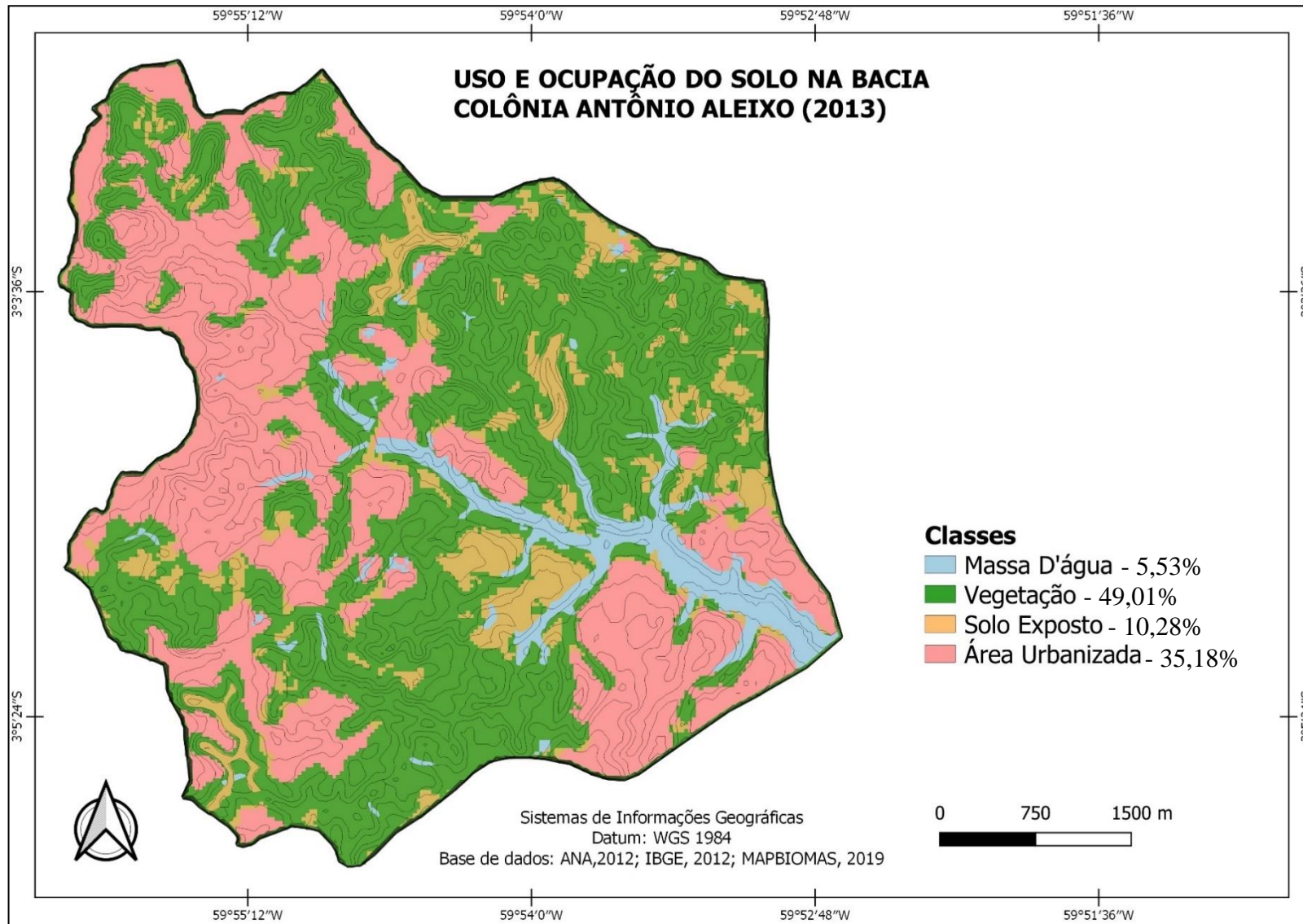


Figura 39: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2013: Elaboração: Guilherme Vilagem e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2013.

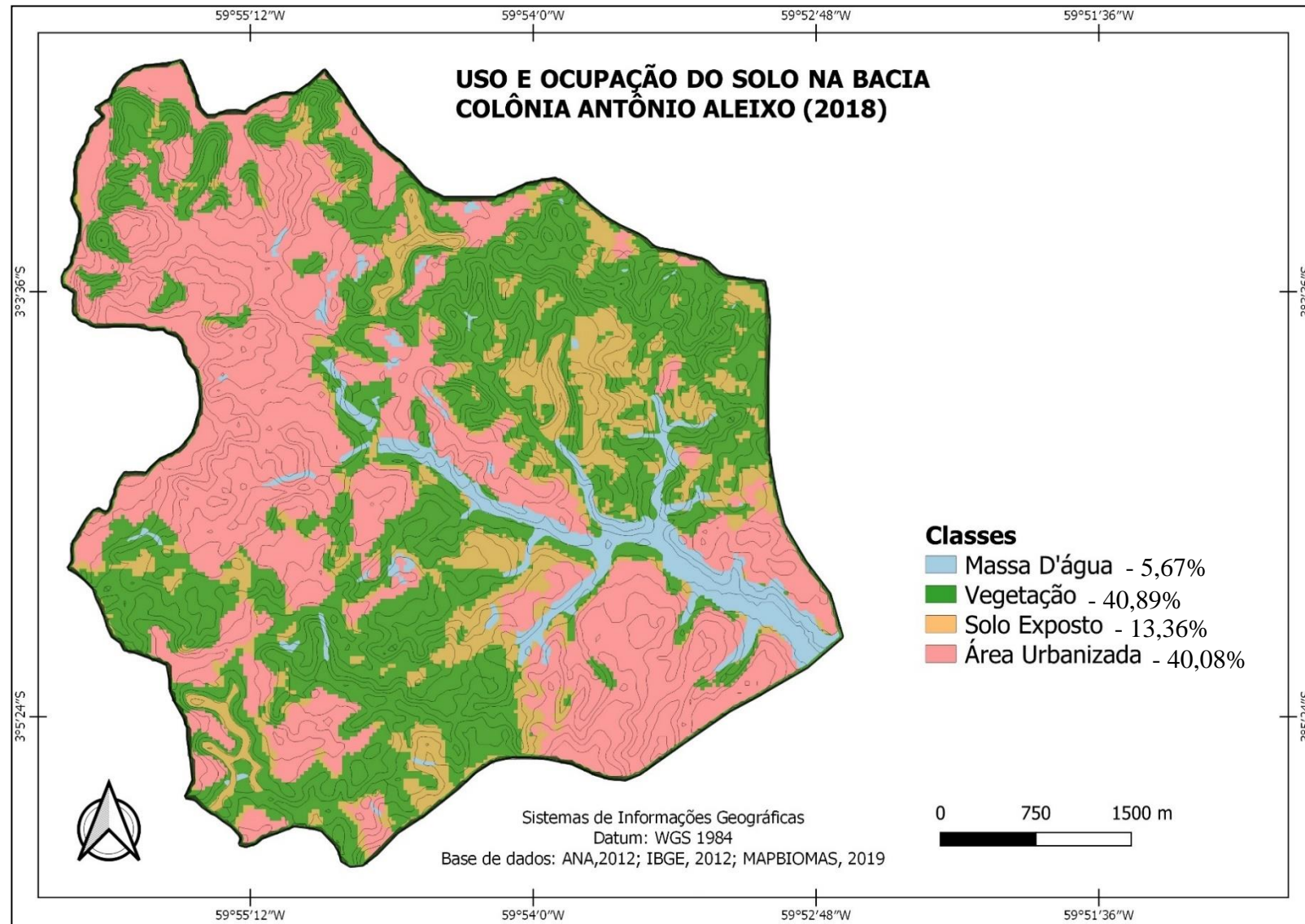


Figura 40: Mapa de cobertura e uso da terra da bacia Colônia Antônio Aleixo, referente ao ano de 2018: Elaboração: Guilherme Vilagem e Armando Brito da Frota Filho, 2020. Fonte de dados: MapBiomias 2018.

Tabela 6: Dados de cobertura e uso da terra, referente à bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

Classes	2001		2007		2013		2018	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Vegetação	11,86	47,56	10,96	43,95	12,22	49,01	10,19	40,89
Área urbanizada	6,28	25,21	7,94	31,85	8,77	35,18	9,99	40,08
Solo exposto	5,37	21,54	4,62	18,55	2,56	10,28	3,34	13,36
Água	1,42	5,69	1,41	5,65	1,38	5,53	1,41	5,67
TOTAL	24,93	100	24,93	100	24,93	100	24,93	100

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

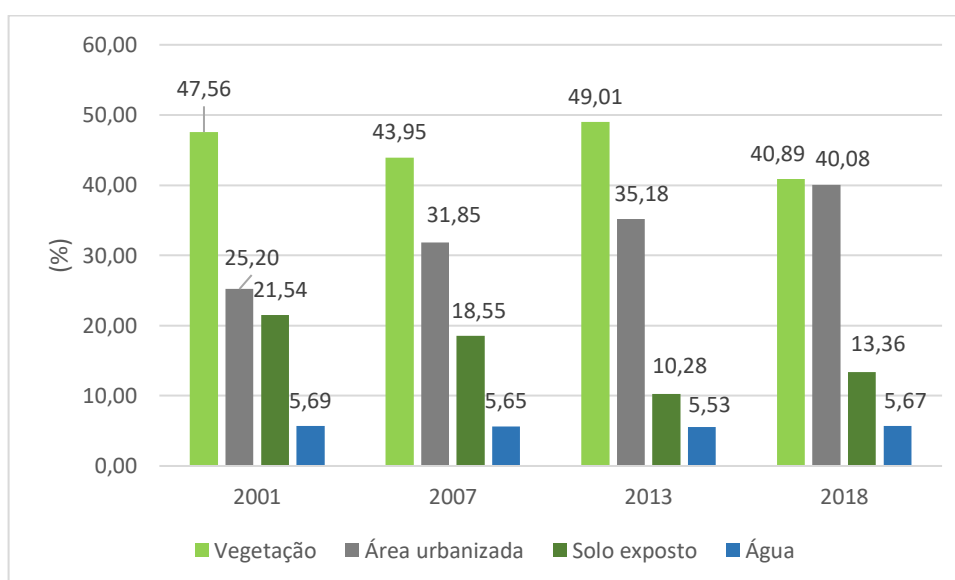


Gráfico 4: Cobertura e uso da terra referente à bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020

O contexto climático e meteorológico da bacia Colônia Antônio Aleixo está mais próximo ao dos estudos de Comino *et al.* (2017), contudo com base nos dados qualitativos da tabela 5 e das análises espaciais, dos anos de 2001 a 2018, entende-se que o processo descrito por Comino *et al.* (2017) não ocorreu na mesma proporção, pois ainda que algumas áreas tenham sido abandonadas e a vegetação se recuperaram, estas passaram por processos de retirada da cobertura vegetal. E essa dinâmica de área abandonada com solo exposto, seguida por recuperação via vegetação de pequeno porte (capoeiras, por exemplo) e novamente desmatamento impede que haja uma recuperação natural da vegetação, assim como possibilita o desenvolvimento de feições erosivas.

No que concerne ao solo exposto, a sua mudança foi quanti-qualitativa, pois inicialmente, em 2001, era de 5,37 km² e foi para 3,34 km², em 2018. Durante as imagens analisadas, a disposição das manchas de solos exposto foram mudando suas características e

posições, sendo algumas vezes abandonas, dando possibilidade de retorno de vegetação incipiente, em outros casos se tornaram manchas urbanas, como observado na figura 42, montante da bacia.

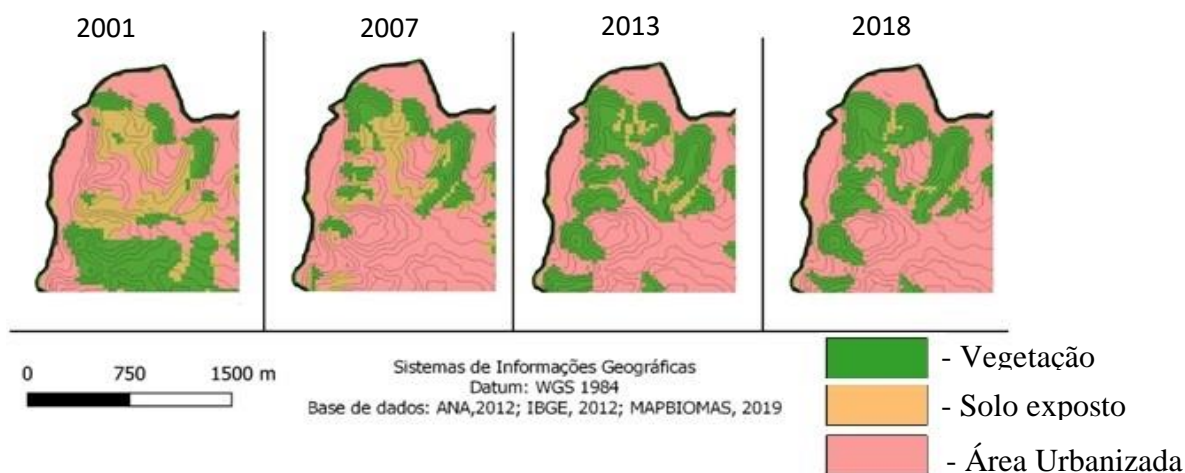


Figura 42: Cobertura e uso da terra da cabeceira da bacia Colônia Antônio Aleixo, nos anos de 2001, 2007, 2013 e 2018. Org: Armando Brito da Frota Filho

Então, ainda que a recuperação da vegetação atue como sumidouro de sedimentos e água que resultando na renovação da conectividade e consequentemente menores taxas de erosão e vazão (COMINO *et al.*, 2017), isso não pode ser afirmado com certeza na bacia Colônia Antônio Aleixo, vide a dinâmica de retirada da cobertura vegetal. Visto que não houve tempo da vegetação cumprir seu papel como agente de recuperação do solo, atenuador de escoamentos (superficial e concentrado) e mitigador da erosão.

Nascimento e Fernandes (2017) consideram a vegetação secundária (capoeiras) como áreas parcialmente degradadas e em processo de recuperação, pois restabelecem as funções orgânicas do solo. Contudo, é a vegetação de maior porte, acima de 5 metros, que tende a ter maior capacidade de retardar o processo erosivo, e por consequência as espécies secundárias ou invasoras, por serem de menor porte, têm menor potencial.

Árvores maiores tendem ser protetoras do solo, por terem a maior capacidade de formar serrapilheira mais expressiva (COELHO NETO, 2008). Indivíduos de maiores estratos possibilitam maior dinâmica do ciclo hidrológico, com redução do impacto direto da chuva no solo, e aumentando a porosidade do solo, e consequentemente a infiltração.

No caso da parte montante da bacia, a vegetação na área recuperou-se, pois se encontra no fundo vale, ou em áreas de planícies de inundações (FIGURA 43). Isso ocorreu devido à pouca perturbação humana nos fundos de vale e canais assoreados, isso explica o porquê de a vegetação conseguir crescer, em meio a mancha urbana.

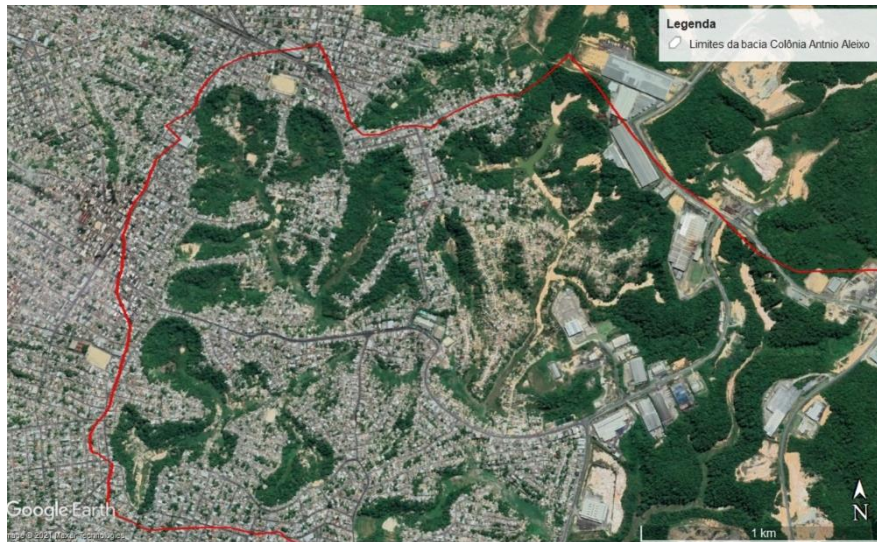


Figura 43: Imagem da parte montante da bacia Colônia Antônio Aleixo, contorno em vermelho. Fonte Google Earth 2021. Org: Armando Brito da Frota Filho

Contudo, em algumas áreas devido à forma de ocupação e pelo processo ao qual o solo foi submetido, como terraplanagens e/ou compactação do solo, a vegetação não consegue se recuperar de forma natural, um exemplo disso, é uma das áreas de solo exposto, da bacia Colônia Antônio Aleixo, figura 44. Este tipo de paisagem antropizada com solos expostos, podendo ou não ter horizontes pedológicos removidos é recorrente na bacia, em especial, no bairro Distrito Industrial II.



Figura 44: Solo exposto compactado no bairro Distrito Industrial II, bacia Colônia Antônio Aleixo.

Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2019.

Nesse contexto autores como Drew (2002), Goudie (2013), Guerra *et al.* (2017) e Guerra (2018) apontam a importância da cobertura vegetal como fator que reduz o processo erosivo, visto que esse é uma proteção direta contra o efeito *splash* (BERTONI e LOMBARDI

NETO, 2010), dispersão da energia cinética e aumento da infiltração devido às raízes (COELHO NETTO, 2008).

No que Comino *et al.* (2017) indica que às vezes, dependendo das condições climáticas associadas às encostas declivosas, o processo de regeneração da vegetação é mais lento. Na bacia Colônia Antônio Aleixo, as alterações do solo como compactação e remoção também dificultam o processo de regenerativo da cobertura vegetal.

Viana (2019) explica que mesmo com níveis de precipitação mais baixos nas porções de área de solo exposto, tal quantitativo ainda é suficientemente elevado para influenciar as taxas de produção de sedimentos nestas áreas. E ao associar essa precipitação a altos índices pluviométricos em curto espaço de tempo, faz com que o potencial erosivo da chuva seja superior, gerando feições erosivas de maior dimensão.

A área urbanizada expandiu de 6,28 km² para 9,99 km², crescimento de 3,71 km², equivalente a 58,98% em relação a 2001. Em termos de área antropizada (alterada por fatores humanos) composta por solos expostos e urbanização, é de 13,32 km² (53,44%).

No intervalo de seis anos a mancha urbana, na parte superior da bacia, se consolidou, e nela foram cadastradas um total de 28 incisões¹⁵, conforme trabalhos anteriormente realizados (VIEIRA, 2008; FROTA FILHO, 2016), além do cadastro realizado nesta tese.

Este dado é importante, já que as feições erosivas em ambientes urbanos tendem a se desenvolver em áreas em que haja conexão entre urbanização e solo exposto, pois o solo impermeabilizado impede a infiltração, intensifica o escoamento (concentrado e difuso) e ao entrar em contato com o solo exposto, este impacta-o diretamente. E sem proteção do solo, o processo de destaque e transporte de materiais é mais intenso, desenvolvendo feições erosivas, desde pedestais a grandes voçorocas.

Essa dinâmica é recorrente ao se pensar em canaletas coletoras de águas pluviais que são direcionadas para fundos de vale, sem dissipadores da energia cinética, ou ainda de vias públicas que desaguam em terrenos com solo exposto, como na figura 45.

¹⁵ Houve flutuação na quantidade de voçorocas devido à contenção de algumas, pelo Poder Público, nesse caso as 28 consideram incisões que se desenvolveram nesse período de 6 anos, ainda que, em 2021, parte delas não mais esteja “ativa”.

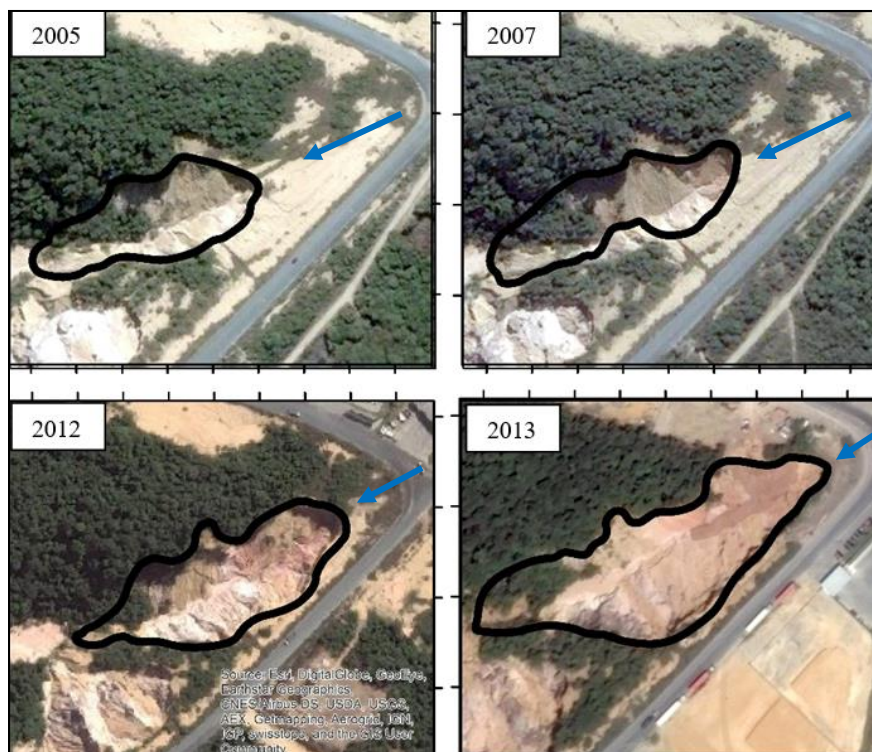


Figura 45: Evolução da voçoroca, bairro Distrito Industrial II, BH Colônia Antônio Aleixo, com imagens dos anos de 2005, 2007, 2012 e 2013. Seta azul indica direção do fluxo superficial concentrado.

Fonte: Google Earth e DigitalGlobe. Org. Armando Brito da Frota Filho, 2021.

No caso desta voçoroca, fatores que contribuiriam para seu desenvolvimento foram: declividade, solo exposto e o escoamento concentrado advindo de áreas impermeabilizadas. Ou seja, características naturais do relevo associadas a tipos distintos de uso e ocupação podem gerar voçorocas de grandes dimensões.

As mudanças no uso e cobertura da terra são os principais fatores de influência humana no processo erosivo. Logo, as políticas públicas para a utilização do solo influenciam diretamente nos sistemas ambientais, podendo contribuir para a preservação do solo e sua redução de risco de erosão (LENSE *et al.*,2021). E por políticas públicas é necessário que se faça a alusão dos instrumentos legais como os planos diretores, até a implementação de zonas de amortecimentos, em áreas de vulnerabilidade ambiental, implementação de canaletas com dissipadores de energia e mesmo processos de contenção de voçorocas em estágios iniciais.

A exemplo da necessidade de planejamento quanto ao uso e ocupação do solo, Viana (2019) aponta que a remoção da vegetação nativa ou floresta pode trazer sérios danos ao regime hídrico de bacias, seus afluentes, assim como nas bacias em que deságuam, logo faz se necessário implementação de práticas conservacionistas e ações para mitigar os efeitos da expansão humana sobre fragmentos florestais. Além disso, o manejo correto do solo nas áreas mais íngremes também contribuiu para mitigar as perdas de solo, pois essas áreas são as susceptíveis ao processo erosivo (LENSE *et al.*,2021).

Os padrões de uso do solo e ocupação da terra desencadeiam degradação e perda do solo, além da geração de processos erosivos, e conseqüentemente de feições erosivas. Tais situações ainda deflagram impactos na rede de drenagem, vide processos de assoreamento, contaminação de córregos, por excesso de macro e micronutrientes. Logo, geram problemas que perpassam desde o dano aos serviços ecossistêmicos do solo à redução da qualidade de vida da fauna, flora e mesmo da população.

A ocupação urbana tem impactos sobre a qualidade da água (superficial, subsuperficial e subterrânea) e nos ecossistemas lóticos de uma bacia. Dentre os inúmeros problemas relacionados à qualidade hídrica estão relacionados diretamente ao uso do solo sem o manejo inapropriado, como a urbanização, atividades industriais, desmatamento que desencadeiam a poluição orgânica e metais pesados (MENEZES *et al.*, 2016).

Aqui faz-se uma ressalva quanto ao se falar de uso do solo e da terra, em especial, em ambiente urbano, é um assunto delicado por tangenciar sobre o direito à cidade, de quem habita e como habita. Então, entende-se que todos os usos descritos acima são necessários, contudo, devem seguir a legislação (Código florestal, Conama, Plano diretor da cidade, dentre outros) e sua fiscalização deve ser frequente, com finalidade de reduzir e mitigar os danos nos solos e nos corpos hídricos.

Neste contexto, os ambientes aquáticos são os que mais sofrem com esse processo, pois o escoamento carrega os sedimentos que geram o assoreamento de canais, além de contaminantes oriundos do asfalto para os canais da bacia. O que faz da contaminação dos ecossistemas aquáticos resultantes das atividades antropogênicas uma das grandes preocupações ecológicas dos últimos anos, conforme Menezes *et al.* (2016).

Vanzela, Hernandez e Franco (2010) corroboram isso ao atestar que “as áreas ocupadas por matas e pastagens (em menor intensidade) favoreceram o aumento da vazão específica e a melhoria de alguns atributos de qualidade de água”.

5.2 Estágios de urbanização e suas alterações nos processos hidro geomorfológicos

Os estágios de urbanização definidos por Nir (1983), Tucci e Collischon (2000) e detalhadas por Rodrigues e Gouveia (2013; 2017) auxiliam no entendimento de como a urbanização atua como um agente geomorfológico, em especial, dentro do ramo da geomorfologia antropogênica, e no seu sub-ramo que é a Geomorfologia Urbana.

Ao identificar os estágios e espacializa-los é possível entender os processos geomorfológicos naturais e/ou antropogênicos associados e suas consequências, tais como feições erosivas, assoreamento, contaminação do solo e da rede hidrográfica.

Tucci e Collischonn (2000), apontam que as taxas de erosão e de produção de sedimentos variam de acordo com a fase de urbanização. As fases iniciais, em especial, no período em que o solo está exposto, têm maiores índices de processos erosivos, decaindo à medida em que a ocupação urbana se consolida.

Para tanto, considerou-se como a área pré-urbana, aqui denominada de **estágio 0**, como polígonos com área extensa, pois tratam-se de vegetação de maior porte (arbóreo e arborescente), a exemplo a Figura 46. As áreas menores não foram estimadas, já que poderiam ser manchas de solo exposto, com vegetação incipiente, ou também descrito como estágio inicial de vegetação (FURLAN *et al*, 2011), além de sofrerem pressão das áreas de estágios 1, 2 e 3, áreas de morfologia antropogênica.

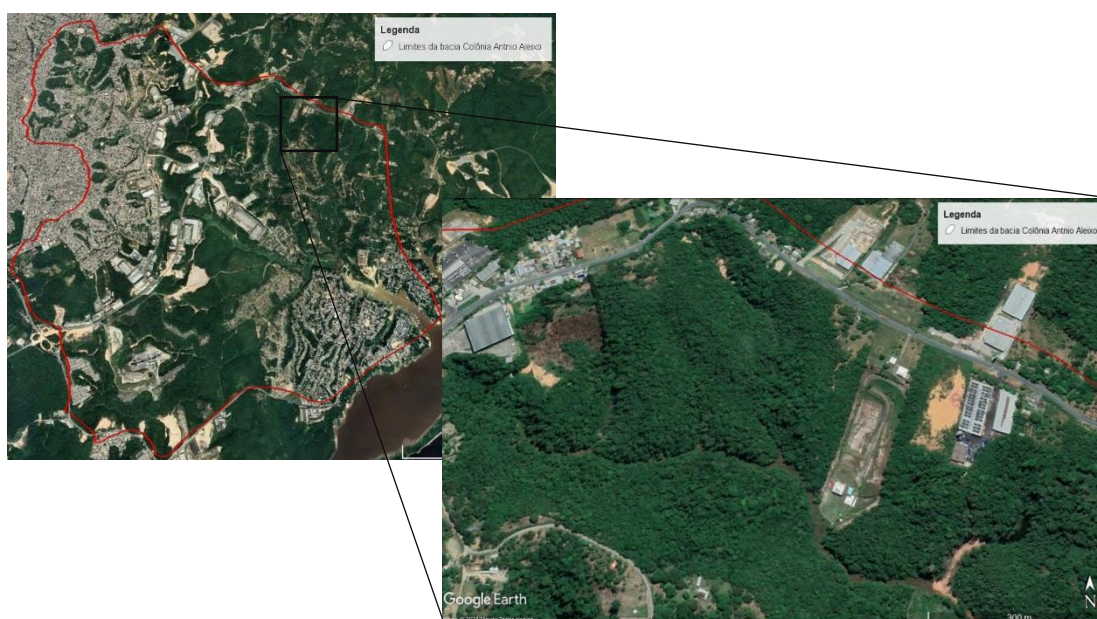


Figura 46: Área representativa do estágio zero de urbanização na Bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Google Earth, 2021.

Nesse estágio o processo de pedogênese está em equilíbrio com a morfogênese, ou seja, como a erosão é incipiente, também denominada de erosão natural ou erosão geológica (GUERRA, 2010), assim o relevo tem pouca alteração. Ressalta-se que isso se dá pelas características naturais dessa área.

As áreas mapeadas como **estágios 1 e 2** (FIGURA 47), também denominada de “estágio inicial de ocupação urbana” corresponde às áreas desprovidas de cobertura vegetal no qual prevalece o escoamento difuso no solo exposto. Enquanto o “estágio intermediário de ocupação urbana” se refere às primeiras ocupações, com presença de arruamento (pavimentado, ou não), nesse momento, o escoamento concentrado, nas proximidades às vias, é recorrente.

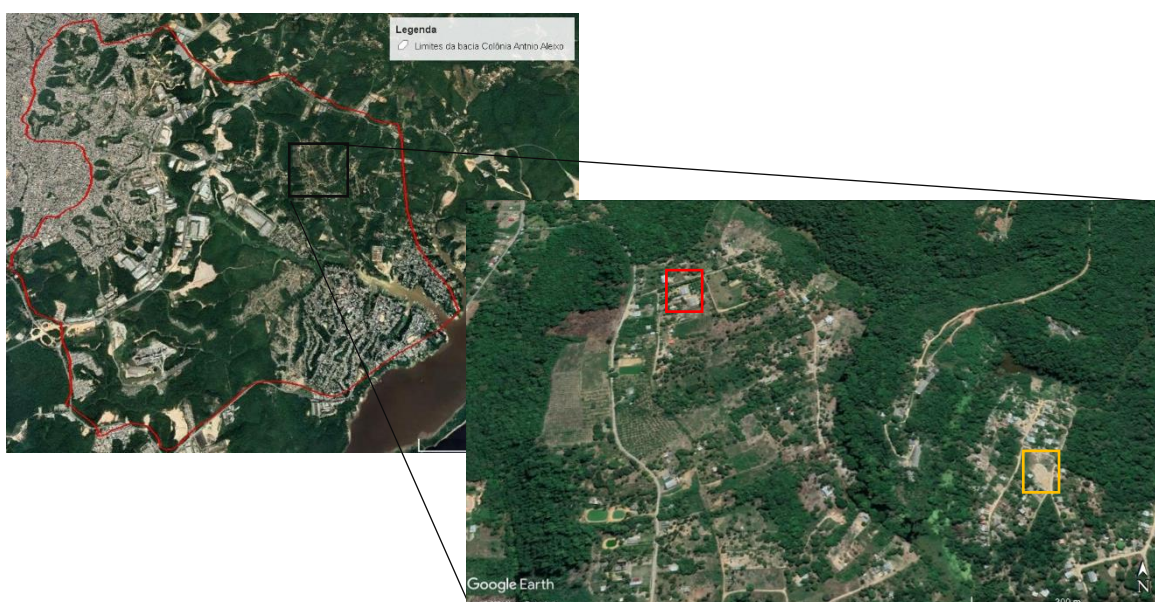


Figura 47: Área representativa do estágio um e dois de urbanização na Bacia Colônia Antônio Aleixo, respectivamente sinalizados nos quadros amarelo e vermelho. Fonte: Google Earth, 2021.

O **estágio 1** se refere ao período das atividades pré-perturbação, como zoneamento e loteamento das áreas desmatadas, enquanto a perturbação ativa engloba atividades como construção das principais infraestruturas, impermeabilização do solo. No **estágio 2** os processos erosivos se acentuam, visto que o escoamento alterna de difuso para concentrado, e nesse momento as feições erosivas aumentam em quantidade, profundidade e largura.

Nesses estágios, a morfogênese começa ser mais intensa do que a pedogênese, devido à compactação e/ou impermeabilização que reduzem as taxas de infiltração do solo. Que por consequência intensificam escoamento difuso e/ou concentrado, aumentam o processo erosivo acelerado e geram as primeiras feições erosivas.

Na bacia Colônia Antônio Aleixo, os **estágios 1 e 2** correspondem a 3,64 km² (14,60%), e estão localizados no terço médio da bacia, no bairro Distrito Industrial II. Bairro que foi zoneado com função de ser a localização de várias indústrias e fábricas vinculadas ao Polo

Industrial de Manaus, contudo apesar de loteadas, não passaram por processo de ocupação e se caracterizam por uma região de solo exposto.

No estágio 3, também referenciado como “áreas em estágio final de ocupação urbana” (FIGURA 48), é a fase altamente impermeabilizada, em si não apresenta grande produção de sedimentos, já que não há solo exposto para ser erodido, na bacia Colônia Antônio Aleixo, esse estágio tem área de 15,04 km² (60,31%).



Figura 48: Área representativa do estágio três de urbanização na Bacia Colônia Antônio Aleixo, seta amarela para canal assoreado, resultante dos sedimentos de voçoroca a montante. Fonte: Google Earth, 2021.

Rossato e Botelho (2002) indicam que à medida que aumenta o coeficiente de pavimentação, acentua-se a ocorrência de casos de erosão urbana, de cerca de 60 a 80%, acima disso, há diminuição significativa de taxas de erosão. As autoras explicam que:

Quando o grau de pavimentação aproxima-se dos 100%, esta passa a ter um efeito benéfico, já que não haverá mais solo exposto para atuação dos processos erosivos, ainda que este fato possa ser prejudicial em relação à ocorrência de enchentes, pois aumenta significativamente o volume de água de escoamento e reduz o tempo de permanência da água no sistema. (ROSSATO; BOTELHO, 2002, p.10).

Apesar da produção de sedimento decair, o escoamento concentrado aumenta, o que faz com que mais água entre no sistema em menor tempo, isso propicia eventos de cheias e alagamentos, além de possibilitar desenvolvimento de voçorocas em áreas de solo exposto. O quadro 9 detalha as características de cada estágio de urbanização, seus processos geomorfológicos associados e a área em quilômetros quadrados da bacia colônia Antônio Aleixo.

Aqui utiliza-se do conceito de Rodrigues (2005) que caracteriza como **morfologia original** aquela pré-intervenção, nesse caso, pré-urbana. Enquanto, a **morfologia antropogênica** como a sequência de intervenções nas formas e materiais superficiais

(morfologias representativas de fases de perturbação ativa e de fases pós-perturbação), ou seja, são as áreas que houve interferência humana, como agente exógeno à urbanização, e conseqüentemente o ser humano.

Como a bacia não passa por um processo de urbanização de forma igual e uniforme, e sim com ciclos de ocupação, primeiramente a jusantes, seguida pela expansão urbana que alcançou o montante da bacia, e por fim a área, do meio da bacia. Não se pode afirmar um momento histórico em que houve as alterações geomorfológicas e dinâmica hidrológica, o que se pode indicar é o período em que estes processos ocorreram.

Dessa forma, as dinâmicas que se apresentam como recorrente ocorrem nos estágios 1 e 2 de urbanização, que a depender da área a ser analisada apresentará anos distintos. Sendo predominantemente nos anos de 1920/30 no caso da parte a jusantes, 1960-1980 no caso da área a montante, e 1990, até hoje, no caso do meio da bacia. Reiterando que nenhuma secção da bacia é completamente urbanizada.

Nesse sentido, entender os estágios de urbanização e quais mudanças nas dinâmicas hidrogeomorfológicas e pedológicas que estão associadas auxilia na compreensão de eventos passados e ações que pode ser realizada em áreas que ainda passarão por estes estágios, a fim de mitigar e reduzir impactos, em especial, desenvolvimento de voçorocas.

Em termos quantitativos, a tabela 7 e gráfico 5 demonstram que 18,68km² (74,91%) passaram por processos de transformação geomorfológica. Dentre os processos estão o corte de vertentes e criação de taludes, áreas terraplanadas, movimentação de solos, criação de depósitos tecnogênicos, além das interferências da rede hidrográfica com canais aterrados, retificados, canalizados e assoreados. Em termos de áreas preservadas há apenas cerca de 6,25km² (25,09%), nos quais os processos naturais são mantidos, contudo estas áreas sofrem pressão das manchas urbanas, e em processo de urbanização, ocasionando o efeito de borda nestes fragmentos.

Quadro 9: Morfologia Original e Morfologia Antropogênica da bacia Colônia Antônio Aleixo

		CARACTERÍSTICAS		PROCESSOS E FENÔMENOS GEOMORFOLÓGICOS ASSOCIADOS	ÁREA (KM²)
MORFOLOGIA ORIGINAL		Estágio 0	- Área com predominância de cobertura vegetal (nativa ou secundária).	- Erosão natural - Equilíbrio entre pedogêneses e morfogênese	6,25
MORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA	Urbanização	Estágio 1	- Áreas desmatadas e /ou terraplanadas para empreendimentos - Áreas de rejeitos de materiais (Depósitos tecnogênicos)	- Mudanças nos tipos de fluxos e de escoamento hídrico. - Redução da capacidade infiltração de água no solo. - Aumento escoamento superficial. - Aumento da erosão - Primeiras formas de incisão por erosão (ravinas e voçorocas). - Morfogênese superando a pedogênese. - Redução no tempo de concentração de água na bacia	3,64
		Estágio 2	PRÉ-PERTURBAÇÃO - Loteamentos desocupados e/ou em ocupação; PERTURBAÇÃO-ATIVA - Cidade em construção; - Primeiras áreas impermeabilizadas; - Infraestrutura ainda em implantação (rede de esgoto, de águas pluviais, abastecimento, energia elétrica, etc.); - Terrenos mais expostos às intempéries em função de cortes para terraplanagem.	- Aumento do escoamento superficial concentrado - Desenvolvimento de feições erosivas (ravinas e voçorocas) em vias sem pavimento - Assoreamento de canais. - Aumento da ocorrência de enchentes - Redução exponencial da infiltração de água e aumento do escoamento	
		Estágio 3	PERTURBAÇÃO-CONSOLIDADA - Área urbana consolidada; - Configura-se nova topografia a área urbana; - Drenagens alteradas; - Devido intensa impermeabilização o escoamento superficial é potencializado causando enxurradas o que contribui para processos erosivos em áreas de contato entre terreno impermeabilizado e as poucas manchas de solo exposto. - Voçorocas utilizadas como deposição de resíduos sólidos (depósito tecnogênico, em especial gárbico).	- Diminuição drástica da infiltração de água no solo, devido a sua impermeabilização. - Desenvolvimento de voçorocas de dimensões maiores. - Impactos <i>on site</i> de perda de área habitável e formação de áreas de risco. - Impactos <i>off site</i> de voçorocas, exemplo: assoreamento de canais. - Redução do tempo de concentração de água na bacia. O escoamento pluvial associa-se às águas servidas e de escoamento pluvial urbano. E consequente contaminação da rede hidrográfica. - Morfogênese supera a pedogênese. - Atividade pedogenética sobre os depósitos tecnogênicos. - Contaminação das águas superficiais e do lençol freático.	15,04

Adaptado de Moroz-Caccia Gouveia (2010), Santos (2017) e Castro e Dias (2018).

Tabela 7: Dados dos estágios de urbanização da bacia Colônia Antônio Aleixo.

Estágios de urbanização (2020)		
	km ²	%
Estágio 0	6,25	25,09
Estágios 1 e 2	3,64	14,60
Estágio 3	15,04	60,31
TOTAL	24,93	100

Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

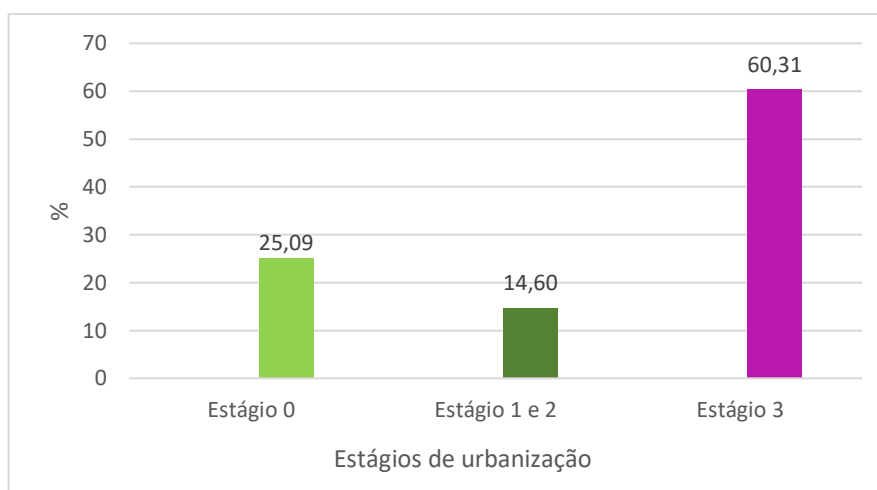


Gráfico 5: Estágios de urbanização da bacia Colônia Antônio Aleixo.

Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quando autores como Tucci e Collischon (2000), Gouveia e Rodrigues (2013; 2017) e Castro e Dias (2018) apontam a urbanização com um agente de alteração do relevo, e nesse sentido engloba ações e atividades como desmatamento, terraplenagem, compactação e impermeabilização do solo e novas formas de relevo como taludes, aterros e patamares. Cujas consequências são justamente na geomorfologia e hidrologia, especialmente, no ciclo hidrológico que acaba por ser reduzido ao binômio infiltração e escoamento, quando não apenas este último.

Na figura 49 que exhibe o mapa da distribuição espacial dos estágios de urbanização, na bacia Colônia Antônio Aleixo, as manchas de estágios 03 estão localizadas a montante e a jusante da bacia, visto que historicamente estas são as áreas de ocupação mais antiga. Segundo Ribeiro (2011) a ocupação da bacia se iniciou a montante, via construção do Leprosário da Colônia Antônio Aleixo, em 1926, que posteriormente deu nome ao bairro, e conseqüentemente à bacia.

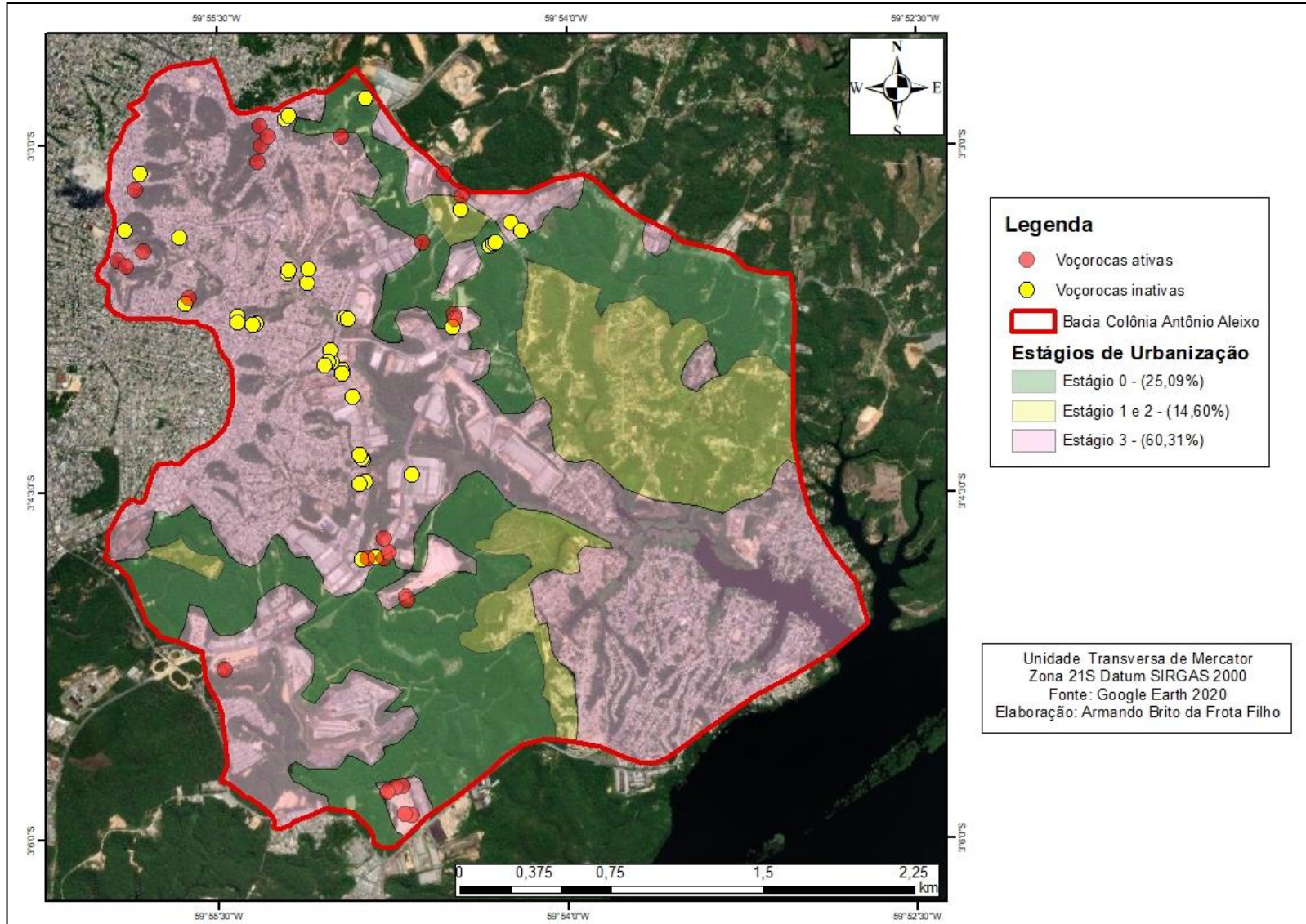


Figura 49: Mapa dos estágios de urbanização da bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte da imagem: Google Earth 2020. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

A região a montante teve sua ocupação datada na década de 1970, que segundo Costa e Oliveira (2008) se deu pelo êxodo rural em direção à capital, que propiciou a ocupação dessa área. Nesse sentido, é importante ressaltar que a ocupação nestes dois pontos se deu de forma distinta.

A montante, a ocupação é mais recente, porém teve caráter mais intenso, então grandes áreas foram alteradas simultaneamente, além disso, esta parte da bacia apresenta maiores declividades, o que fez com que durante seu processo de ocupação ocorresse o surgimento de diversas feições do tipo voçoroca.

Enquanto que a jusante, a ocupação aconteceu de forma paulatina, ou seja, mais lenta, além disso, as declividades desta área são menores, estes dois fatores associados explicam o porquê de poucas incisões serem cadastradas nesta região.

Em seguida, como na maior porcentagem da bacia estão as áreas no estágio 0, que ocupam 25,09%, elas se distribuem no terço médio da bacia, tanto na margem esquerda quanto direita. Esta sofre pressão de manchas de estágio 03 e dos estágios 01 e 02, sendo que uma parte desse enclave florestal tem mais chances de ser urbanizado, pois se encontra entre os polígonos citados acima, assim como por estar mais próximo às áreas de crescimento da cidade. O fragmento na margem esquerda tende a ter menos pressão, visto que ele se junta ao fragmento florestal da bacia adjacente, bacia Boa Vista, cuja ocupação urbana não é tão intensa.

Por fim, as manchas referentes aos estágios 1 e 2, que representam 14,60% da bacia, apesar de estarem em menor proporção, se encontram em contato direto com as manchas de estágio 3, o que acentua o desenvolvimento de processos erosivos.

Como apontam Rossato e Botelho (2002) “à medida que o percentual de ruas pavimentadas aumenta, diminuem as áreas de infiltração e elevam-se os fluxos de água em superfície, que podem causar erosão”, logo se esses fluxos encontram áreas de solo exposto, o processo tem um potencial ainda maior. Que por sua vez, além de desenvolver feições erosivas como as voçorocas, possibilita que estas apresentem processo de crescimento acelerado e grandes dimensões.

No caso de Manaus, como explicam Tanaka *et al.* (2014), a quantidade de eventos pluviométricos reduziu, contudo, a quantidade em milímetros permanece a mesma, ou seja, as chuvas estão mais intensas em curto espaço de tempo. Ao se associar esse padrão pluviométrico ao fato de que as áreas impermeabilizadas levam parte do escoamento concentrado para áreas de solo exposto, o potencial erosivo da chuva cresce exponencialmente.

Outra questão pertinente são as canaletas mal posicionadas e/ou sem dissipadores de energia, pois o sistema de drenagem urbana também corrobora para ocorrência e agravamento

deste tipo feições do tipo voçoroca. Quando estruturado de forma inadequada, concentra e direciona as águas para pontos críticos do terreno, como áreas de convergência natural dos fluxos nas encostas (ROSSATO; BOTELHO, 2002).

A exemplo disso, a figura 50 retrata uma voçoroca que apesar de estar longe de uma via pública, se desenvolveu devido à canaleta mal estruturada, que em vez de ser dimensionada até o fundo do vale, com os devidos dissipadores de energia. Se encerra a meia encosta, o que gerou processos erosivos contínuos no passar dos anos, que desenvolveram a voçoroca, em destaque.



Figura 50: Voçoroca localizada no bairro Distrito Industrial II, em contorno vermelho, seta azul indica a direção da canaleta, seta em amarelo indica saída da canaleta. Fonte: Fábio Vieira e Armando Brito da Frota Filho, 2018

No mapa dos estágios de urbanização com a localização das voçorocas observa-se que o desenvolvimento das voçorocas está nas proximidades das ruas, que também são áreas de quebra de declive. Nesse caso, associa-se as características geomorfológicas como declividade acentuadas que Vieira (2008) descreve como sendo condicionantes para o desenvolvimento de incisões, com as canaletas ou outras características urbanas que possibilitem a concentração de fluxos.

Camargo (2012) aponta que os maiores impactos ocorrem em regiões de “mudança brusca na velocidade do escoamento”, como a que ocorre na área de contato entre estágios distintos de urbanização, assim como entre área urbana e solo exposto, ou entre solo exposto e área com cobertura vegetal. Pois, quando a intensidade e quantidade de água do escoamento superficial gerado na área urbana encontra o solo exposto sem proteção, há a intensificação da dinâmica erosiva.

Trabalhos como de Moroz-Caccia Gouveia e Rodrigues (2017) e Castro e Dias (2018) ajudam a explicar o potencial da urbanização como um agente geomorfológico, visto que os autores demonstram, através da análise do processo histórico de ocupação de bacias, os diferentes impactos nas dinâmicas e processos geomorfológicos, em especial, quando separados em estágios.

Por meio da identificação dos estágios e quais são os eventos relacionados a eles, é possível desenvolver ações mitigadoras. Nesse sentido Lense *et al.* (2021) reforçam que “o uso adequado das políticas públicas pode influenciar o sistema ambiental como um todo, e ainda contribuir para a preservação do solo, reduzindo o risco de erosão”.

Há necessidade de se tratar as bacias hidrográficas, de forma global e sistêmica, identificando-se as “áreas ambientalmente sensíveis”, em que são necessárias práticas de controle dos processos erosivos, ou mudanças de uso da terra e não somente a proteção dispensada aos cursos d’água por meio da mata ciliar (VANZELA *et al.*, 2010). Ressalta-se que ainda que não haja a proteção e conservação, dependendo do contexto em que se emprega, há a questão da prática da lei pelas instituições, sociedade civil e poder público.

Dito isto, faz-se necessário observar como as áreas de um estágio de urbanização afetam os outros, pois a água pluvial ou servida que não infiltra, tendo em vista a urbanização tem a capacidade de criar uma nova topografia, alterando grandemente o escoamento e contribuindo para a sobrecarga da capacidade de infiltração do solo. A água no ambiente impermeabilizado pode ser direcionada para áreas de solo exposto, o qual não está preparado para o escoamento concentrado. O mesmo pode ser dito da água direcionada às áreas vegetadas (estágio 0) que naturalmente não apresentam capacidade de infiltrar a água advinda de uma canaleta, o que gera voçorocas, como visto acima.

A urbanização tem a capacidade de criar uma nova topografia e por conseguinte, novas formas de relevo, estas que apresentam características únicas quando comparadas às formas originais e naturais. Dessa forma, também precisam ser analisadas via processos geomorfológicos.

5.3 Mapeamento e monitoramento das voçorocas da área de estudo

O estudo das feições erosivas, considerando tanto sua posição geográfica quanto seus processos de crescimento, via monitoramentos periódicos são um importante eixo dentro da Geografia e das ciências que estudam o ambiente (GUERRA, 2014; BOARDMAN, 2016). Tanto para o entendimento de seu desencadeamento e evolução como o potencial risco às vidas humanas.

Os estudos com enfoque nos processos erosivos realizados, na cidade de Manaus, por Vieira (2008), apontam que até 2008 havia 91 incisões, das quais 50 localizavam-se na bacia Colônia Antônio Aleixo. Em 2012, a quantidade de incisões foi reduzida para 38 (FROTA FILHO, 2012) e em 2016 para 22 (FROTA FILHO, 2016).

A redução no número de voçorocas não reflete uma melhora na qualidade ambiental, pois está associada a dois fatores principais: o primeiro diz respeito às intervenções diretas do poder público, que conteve algumas incisões, em especial, as situadas em bairros com maior contingente populacional e que punham em risco a população ou que destruíra aparelhos urbanos (vias, postes, canaletas, entre outros) (FROTA FILHO, 2016). O segundo está ligado à expansão de voçorocas próximas, o que propicia a junção destas. Um exemplo disso é um conjunto de voçorocas, na Figura 51, abaixo, no qual entre os anos de 2005 e 2013 duas voçorocas se uniram.

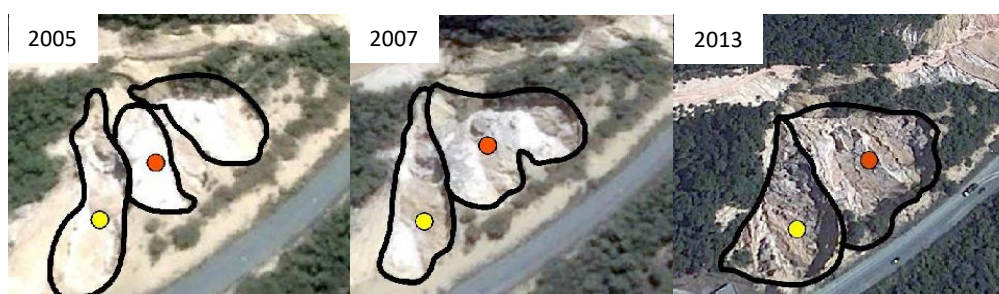


Figura 51: Evolução de voçorocas, no bairro Distrito Industrial II, na bacia Colônia Antônio Aleixo. Ponto amarelo indica voçoroca em crescimento vertical, ponto laranja voçoroca com crescimento lateral. Fonte: Google Earth anos 2005, 2007 e 2013. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Até 2021¹⁶, foram localizadas e cadastradas 26 incisões, como pode ser observado, na Tabela 8, a quantidade de incisões em relação aos anos anteriores aumentou. Um caso específico, trata-se de uma voçoroca localizada enquanto era realizado o monitoramento de outras duas (FIGURA 52). Esta, localizada em meio à vegetação e que não era possível ser vista

¹⁶ Último cadastro realizado para esta tese.

a partir da pista porque se desenvolveu em meio à parte florestada, desencadeada por uma canaleta em encosta, em uma propriedade privada.

Tabela 8: Quantidade de voçorocas encontradas na bacia Colônia Antônio Aleixo

Feições erosivas (Voçorocas)	Nº de voçorocas Vieira (2008)	50
	Nº de voçorocas Frota Filho (2012)	38
	Nº de voçorocas Frota Filho (2016)	22
	Nº de voçorocas (2021)*	26

*Este trabalho

Org. Armando Brito da Frota Filho, 2020.



Figura 52: Imagem de voçorocas monitoradas pelo VANT, destaque com círculo vermelho para a incisão localizada em meio à vegetação e a seta preta indicando a mancha na parede da voçoroca originada por uma canaleta. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Na imagem acima é possível notar uma mancha na parede da voçoroca, tal resultado, é o processo de escoamento da água, por meio de uma canaleta mal direcionada, que gerou a incisão e contribuiu para acelerar seu processo de crescimento, juntamente com o potencial erosivo da chuva.

Contabilizando todas as voçorocas já cadastradas, nos trabalhos de Vieira (2008) e Frota Filho (2016; 2021), considerando as inativas e as que foram de alguma recuperadas ou que foram alteradas via maquinário, obteve-se um total de 40 incisões inativas¹⁷ e 26 ativas (FIGURA 53).

¹⁷Conceito de voçoroca inativa por Fleury (1983). Aqui as inativas foi o termo utilizado para incisões que sofreram algo tipo e contenção, seja pela iniciativa privada ou pelo poder público.

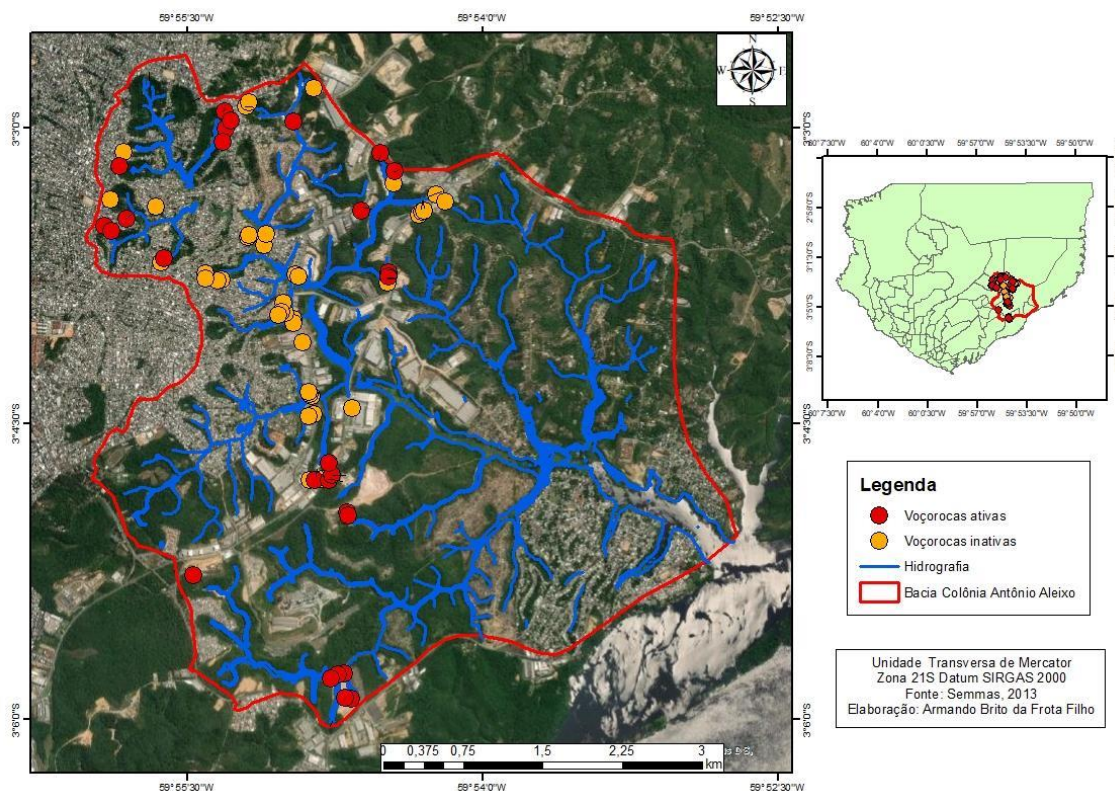


Figura 53: Mapa de localização das voçorocas ativas e inativas da bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus, AM. Org.: Armando Brito da Frola Filho, 2020.

A maior concentração de voçorocas está nos trechos médio e superior da bacia, esta última apresenta a maior quantidade de voçorocas inativas, fato atribuído pela maior densidade populacional, o que gera maior intervenção de agentes públicos. Outra característica é que as incisões se instalaram próximo às rodovias que estão em altitudes elevadas e que geram quebra de declive.

A fim de entender melhor as dinâmicas de crescimento das incisões, foram inicialmente escolhidas 5 voçorocas, contudo, uma delas sofreu intervenção da iniciativa privada e foi transformada em um tipo de “lixão” (depósito tecnogênico gárbico e úrbico), algo comum, pois algumas voçorocas são utilizadas como bota-fora¹⁸ de resíduos sólidos domésticos. Essa dinâmica apesar de recorrente tem que ser evitada, visto que devido o encontro das águas subsuperficiais com as superficiais, que provoca contaminação das águas subsuperficiais. Neste caso, a voçoroca perdeu todas as suas paredes verticais, fundo plano e o formato em U (FIGURA 54).

¹⁸ Tipo de lixão, local de rejeitos de resíduos sólidos.

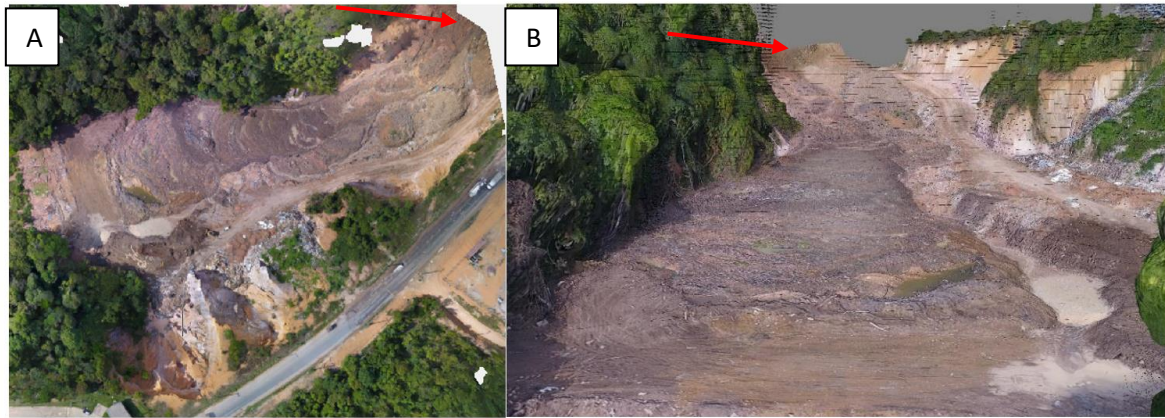


Figura 54: Imagens obtidas por drone em 2017, da voçoroca que perdeu suas características. A – Visão de cima da incisão; B – Visão frontal da incisão, seta vermelha indica cabeceira da voçoroca. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Assim, foram escolhidas 04 voçorocas para serem monitoradas entre os anos de 2017 e 2020 (FIGURA 55), as quais foram observadas, além de suas características métricas, como comprimento, largura, profundidade, área, volume e tamanho (VIEIRA e ALBUQUERQUE, 2004), as qualidades morfológicas, tais quais, tipo (OLIVEIRA, 1989), forma (VIEIRA, 2008), além de feições erosivas secundárias que auxiliam nos seus respectivos crescimentos.

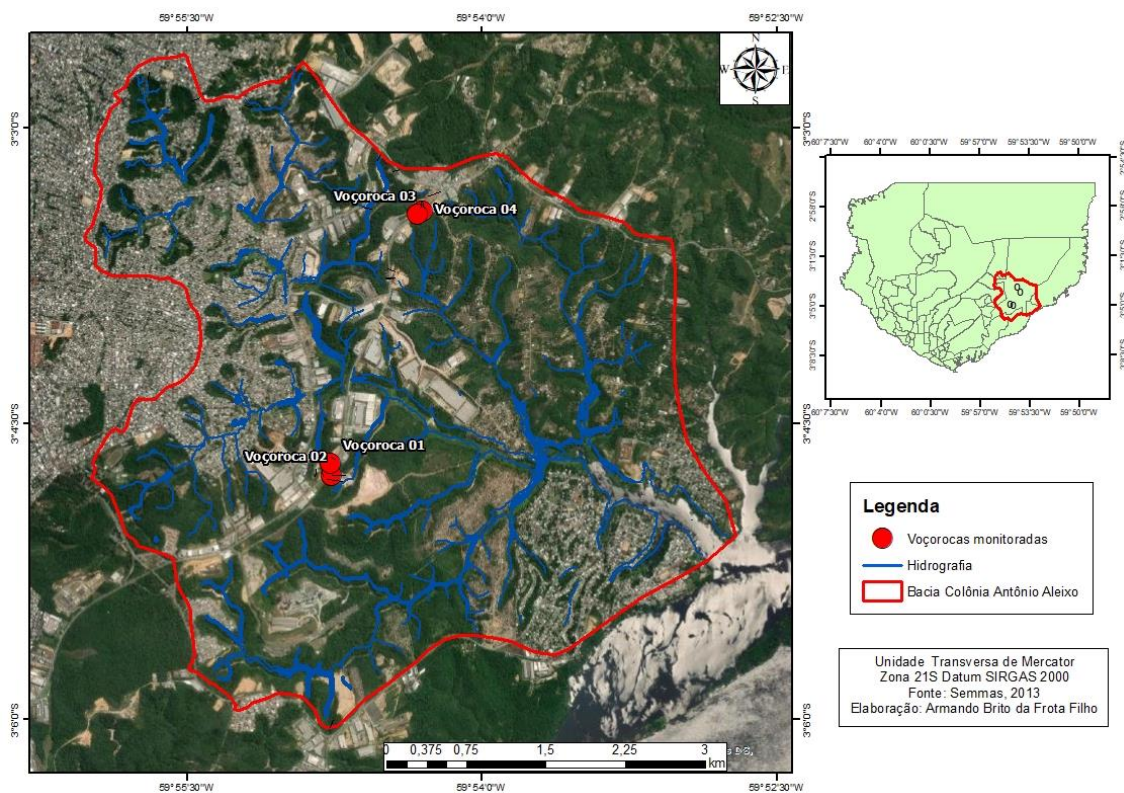


Figura 55: Mapa de localização das voçorocas monitoradas entre os anos de 2017 e 2020, Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Essas voçorocas estão localizadas no bairro Distrito Industrial II, e se desenvolveram antes de 2004, sendo esta análise feita a partir das imagens disponíveis no Google Earth, cuja

mais antiga com visibilidade é do referido ano, abaixo, no Quadro 10, há a síntese dessas informações.

Quadro 10: Características do local em que as voçorocas monitoradas se encontram

Voc.	Coordenadas	Declividade da encosta		Forma da encosta ¹⁹
		Grau (°)	(%)	
1	S 03° 4'41.85" O 59°54'46.45"	19,67°	31,91	Convexa Divergente
2	S 03° 4'46.28" O 59°54'49.13"	24,11°	39,79	Retilínea Divergente
3	S 03° 3'25.64" O 59°54'19.78"	18,36°	26,66	Convexa Convergente
4	S 03° 3'24.66" O 59°54'18.20"	26,19°	43,62	Convexa Divergente

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

A largura das incisões se refere à média de três perfis transversais realizados na voçoroca, no gráfico 6 todas as feições erosivas apresentaram crescimento lateral, na qual a voçoroca 3 tem maior taxa de crescimento, com seis metros. Enquanto, a voçoroca 4 apresentou uma redução, em face de parte de uma das bordas mais ao fundo ter colapsado.

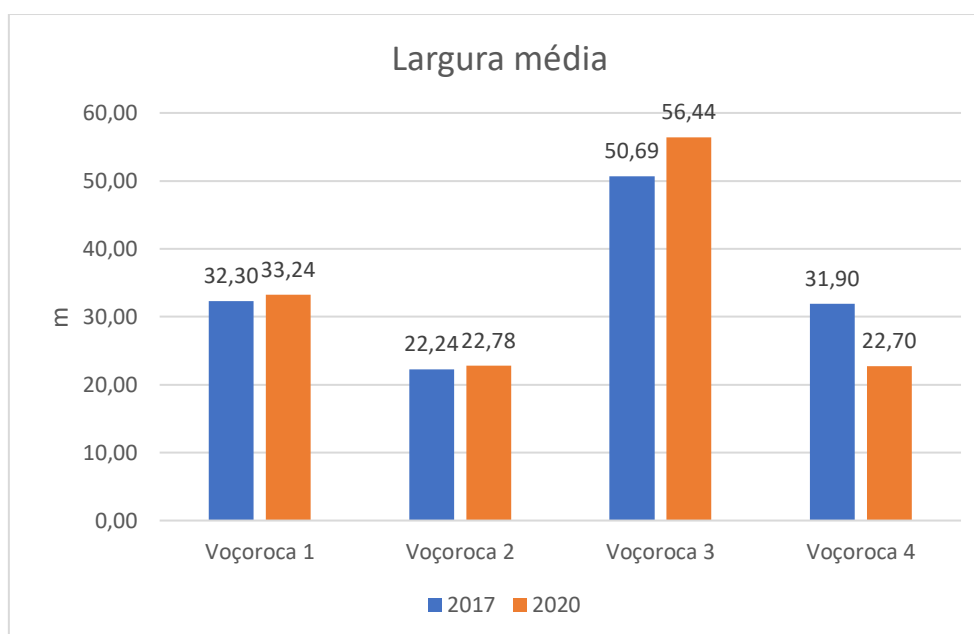


Gráfico 6: Evolução da largura média das incisões.

Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020

Em contrapartida, o crescimento longitudinal delas foi menor (GRÁFICO 7), o que pode indicar que a área de contribuição para o crescimento das incisões está reduzindo e seu potencial

¹⁹ Derivado da combinação das classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo).

de crescimento reduz. Isso é notável nas voçorocas 02 e 03 que já estão próximas a pista, logo, a fonte de água para desencadear o processo erosivo reduziu. Enquanto, na voçoroca 04, uma parte da borda direita colapsou e seu comprimento reduziu-se. Pois conceitualmente uma voçoroca tem fundo plano, e paredes verticais, se a parede colapsa essa parte não mais caracteriza a voçoroca.

No que concerne às profundidades, normalmente, crescem ou permanecem as mesmas, visto que o fundo plano das voçorocas pode ser associado aos sedimentos que se rebaixaram (AUGUSTIN e ARANHA, 2006) ou alcançam o nível de base ou estrutura rochosa (VIEIRA, 2008). No gráfico 08, todas as profundidades reduziram, no caso das voçorocas 01 e 02, infere-se que a falta de força dos fluxos superficiais no interior das incisões seja a responsável pela redução da profundidade, visto que em sedimentos²⁰ analisados em outras voçorocas de mesmas características, o material é mais arenoso (51,67% de areia, 37,84% de argila e 10,26% de silte).

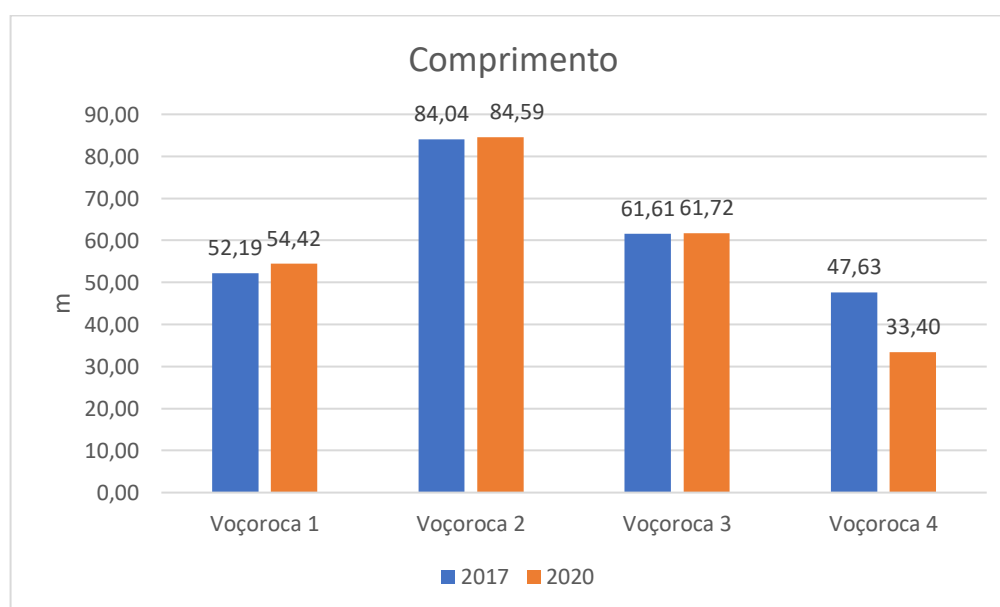


Gráfico 7: Evolução do comprimento médio das incisões.
Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020

²⁰ Resultado da granulometria dos sedimentos está no resultado 5.5 Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas.

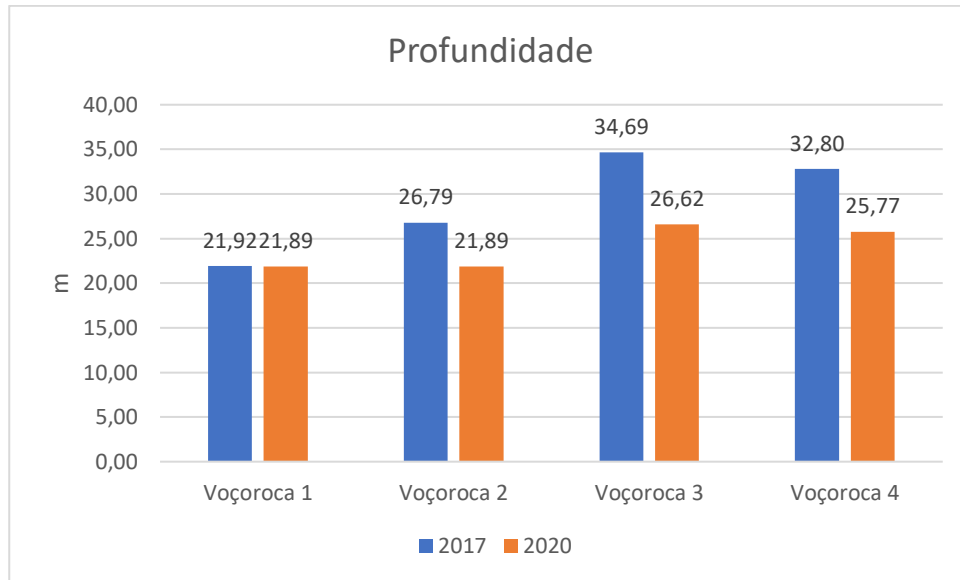


Gráfico 8: Evolução da profundidade das incisões.
Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020

Enquanto nas voçorocas 03 e 04, o material que havia se depositado e acumulado nas paredes das incisões, em 2017, foi sendo movimentado para a base, e se aplainando. Além disso, as voçorocas 03 e 04 estão próximas de uma voçoroca que se tornou uma espécie de “lixão” (deposito tecnogênico gárbico e úrbico). Isso pode ser um fator que impede, ou reduz a quantidade de sedimentos que flui das incisões para a rede de drenagem, como uma forma de barramento sedimentar, retendo parte do material no interior da voçoroca (FIGURA 56).

Na figura abaixo é possível notar que ambas estão mais largas além de poucos resíduos material resultante de movimentos de massa nas paredes no ano de 2020 se comparado com 2017.

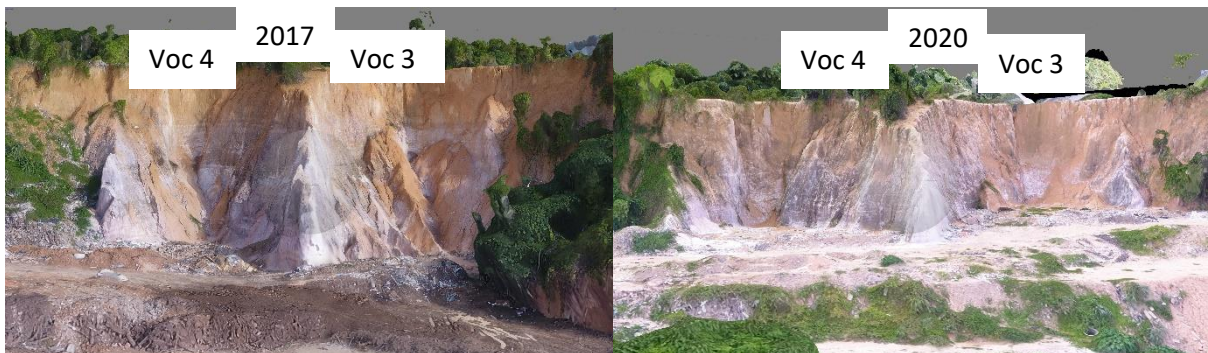


Figura 56: Imagens frontais das voçorocas 03 e 04, realizada por Vant referentes aos anos de 2017 e 2020.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

A área (GRÁFICO 04) e volume (GRÁFICO 05) das incisões seguem a mesma tendência dos parâmetros abordados, uma vez que são seus resultantes. A incisão com maior crescimento em área foi a voçoroca 03, com evolução de 360,71 m², apesar de que o volume tenha tido uma “redução”, que se deve a diferença da profundidade citada acima, enquanto a voçoroca 01 foi a única que apresentou crescimento no volume erodido.

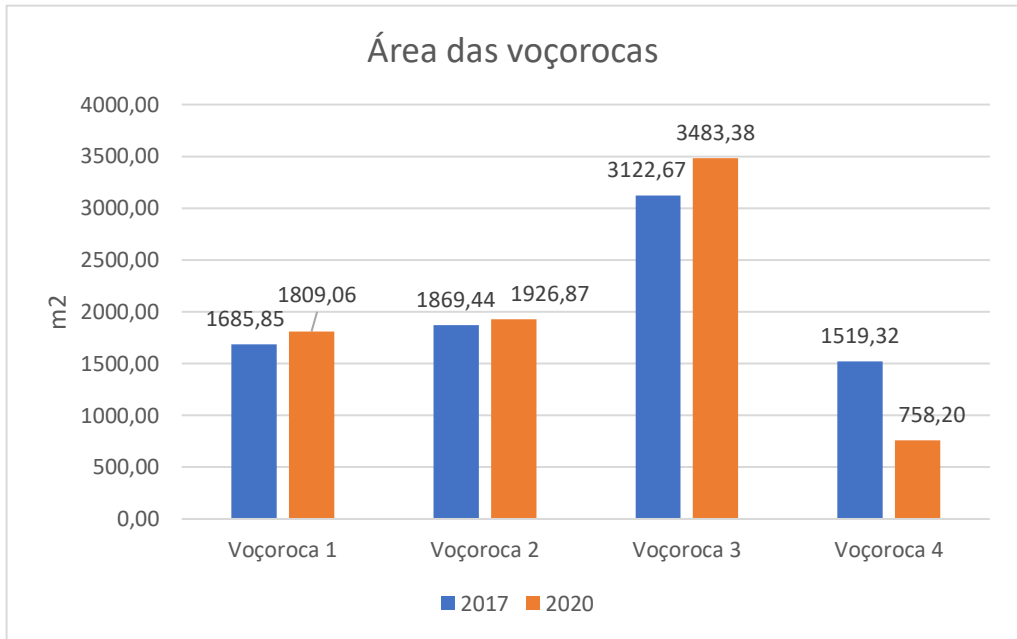


Gráfico 9: Evolução da área das incisões
Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

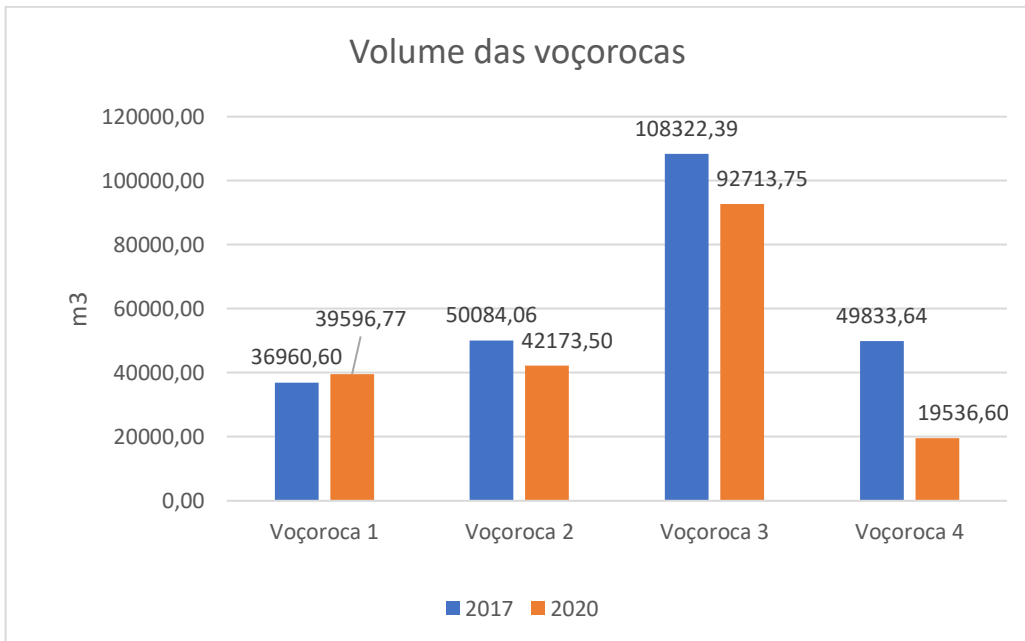


Gráfico 10: Evolução do volume das incisões.
Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020

Por meio do monitoramento por VANT, traçaram-se perfis longitudinais e transversais das voçorocas, além do contorno, de forma e posição na vertente que colaboraram para compreensão do seu crescimento. Nesse sentido, Boardman (2016) advoga sobre o uso de imagens do Google Earth para monitoramento geomorfológico e o uso de drones, conseguindo ir além ao propiciar melhor resolução espacial e temporal com base às necessidades do estudo.

Quanto à morfologia, as voçorocas são analisadas individualmente e por comparação dos monitoramentos de 2017 e 2020. Então, a **voçoroca 01** nos dois monitoramentos, apresentou as mesmas características morfológicas, sendo pelo modelo de Oliveira (1989) classificada como conectada e no modelo de Vieira (2008) como retangular.

No que se refere ao primeiro, indica que a incisão apresenta potencial para crescimento, visto que voçorocas são caracterizadas como feições erosivas de crescimento remontante, logo, considerando a geomorfologia local, esta ainda não alcançou o interflúvio.

Quanto à forma, Vieira (2008) explica que as incisões retangulares apresentam um nível de estabilidade maior, com processo de desenvolvimento e crescimento desacelerado quando comparadas às incisões irregulares, por exemplo. Em questão de volume erodido, teve um volume final de 39.596,77 m³, considerada como grande, pelo modelo de Vieira e Albuquerque (2004).

Nas bordas e cabeceira da voçoroca 01, são encontradas fendas de tração que atestam a instabilidade do terreno, que conseqüentemente contribuem para o desprendimento de blocos de solos da parede da incisão. Essa dinâmica é encontrada nas figuras 57, 58 e 59, que respectivamente, mostram na borda da voçoroca a formação de fendas de tração, indicando instabilidade do solo e um sulco, que em processo de escavação nas suas paredes é possível notar escamas ou filmes de silte deixados pelo processo erosivo. Indicando que a voçoroca em questão está ativa. Na figura 60, há as cicatrizes dos movimentos de massa, que se tornarão sedimentos carregados até o fundo da voçoroca e posteriormente para o vale.



Figura 57: Fenda de tração na borda da voçoroca 01. Em vermelho o destaque do contorno da fenda, bairro Distrito Industrial II. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.



Figura 58: Fenda de tração na borda da voçoroca 01, bairro Distrito Industrial II. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.



Figura 60: Sulco encontrado nas bordas da voçoroca, no interior deste sulco, nota-se uma marmitta torrencial, oriunda de fluxos turbulentos. Largura de 10 cm. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018



Figura 59: Cicatrizes de movimento gravitacional de massa, do tipo queda em bloco, no interior da voçoroca, indicando atividade recente. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Os monitoramentos de 2017 e 2020, figuras 61 e 62, respectivamente, permitem uma análise da forma e do processo evolutivo da incisão 01, ao se observar os perfis transversais (AB, CD e EF), nota-se o formato em **U** descrito por Vieira (2008).

Em termos de forma, a evolução do perfil AB, de 2017 para 2020, foi o que mais expandiu e isso pode ser atribuído a maior área de contribuição, ou seja, maior potencial das bordas em serem erodidas, como observado pelas incisões (fendas e sulcos) nas bordas, além das características pedológicas desse ponto²¹ (71,03% de areia, 22,46% de silte e 6,51% de argila), que apresenta maior erodibilidade. Outra dinâmica que ocorreu foi sobre os sedimentos que foram carregados, deixando a parede da voçoroca retilínea, que também, está associada ao crescimento da incisão em 2,23 m (TABELA 9).

Ao se comparar os perfis longitudinais²² de 2017 e 2020, neste último, os sedimentos carregados resultantes do crescimento da incisão, se acumulam ao final do perfil e no fundo da incisão, visto que, a profundidade da mesma reduziu em 40 cm em relação a 2017.

Tabela 9: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referente a voçoroca 01.

Voçoroca 01			
Parâmetros	2017	2020	Alterações
Perfil Transversal AB (m)	39,75	41,98	2,23
Perfil Transversal CD (m)	32,74	32,94	0,20
Perfil Transversal EF (m)	24,42	24,81	0,39
Média dos perfis (m)	32,30	33,24	0,94
Perfil longitudinal (m)	52,19	54,42	2,24
Profundidade (m)	21,92	21,89	-0,04
Área (m ²)	1685,85	1809,06	123,21
Volume (m ³)	36 960,60	39 596,77	2636,16

Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

De forma geral, a voçoroca teve crescimento, visto que a média dos perfis apresentou um aumento de 0,94 metros, sendo a área com 123,21 m² e o volume com 2636,15 m³. Se for considerada a maior profundidade encontrada, no caso a aferida em 2017, e com a maior área, a calculada em 2020, é possível encontrar o volume erodido total desta voçoroca, ou seja, um valor de 39.654,59 m³. A título de referência, está mesma voçoroca quando monitorada entre 2015 e 2016, apresentava volume erodido inferior a 30.000 m³ (FROTA FILHO, 2016).

²¹ Dados de solo discutidos no 5.4: Caracterização pedo hidrogeomorfológicas da bacia Colônia Antônio Aleixo.

²² Os perfis longitudinais foram delimitados em relação ao canal incisivo e convergente central.

- Voçoroca 01 (Monitoramento de 2017 - 2020)

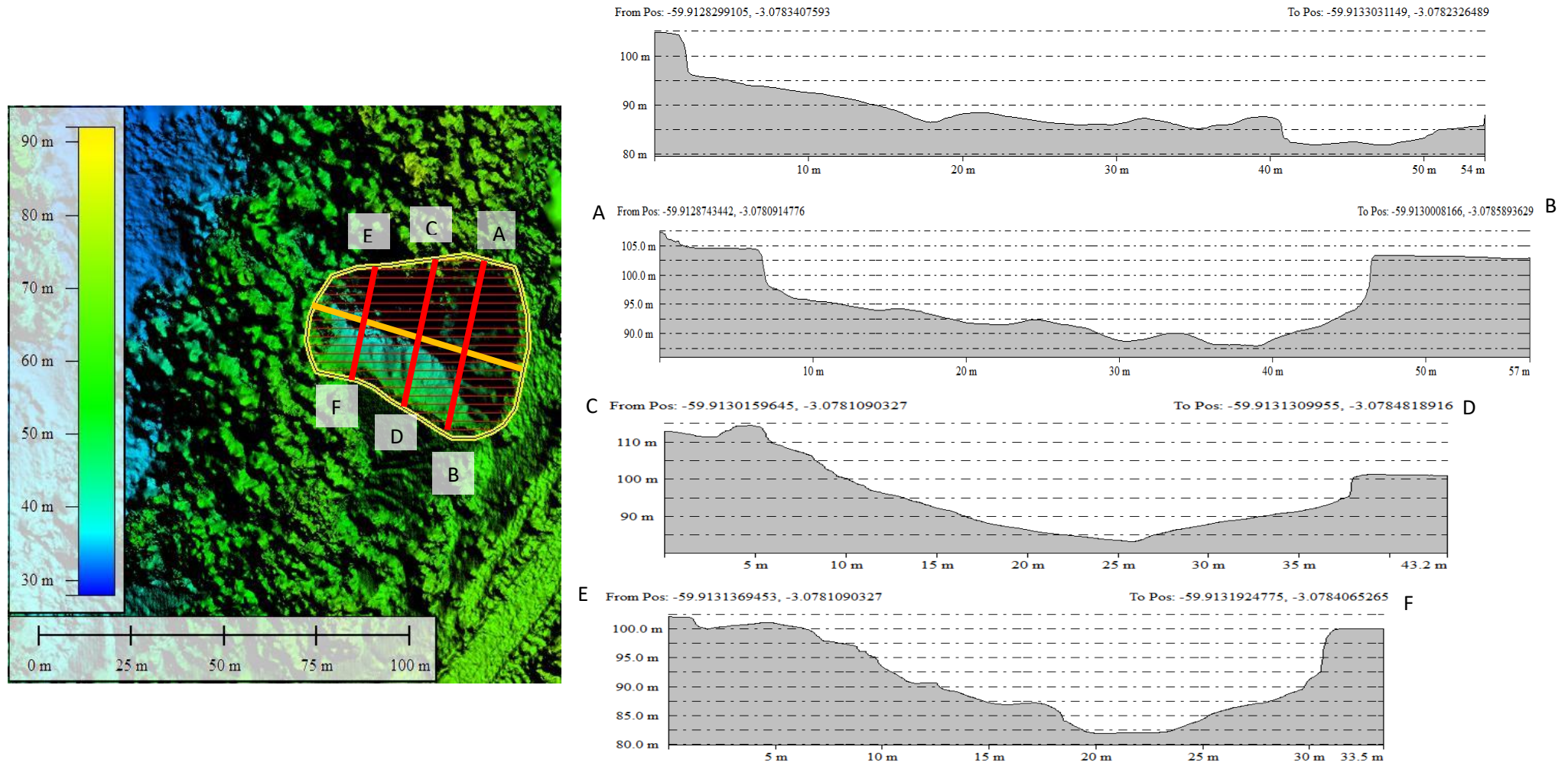


Figura 61: Monitoramento da voçoroca 01, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

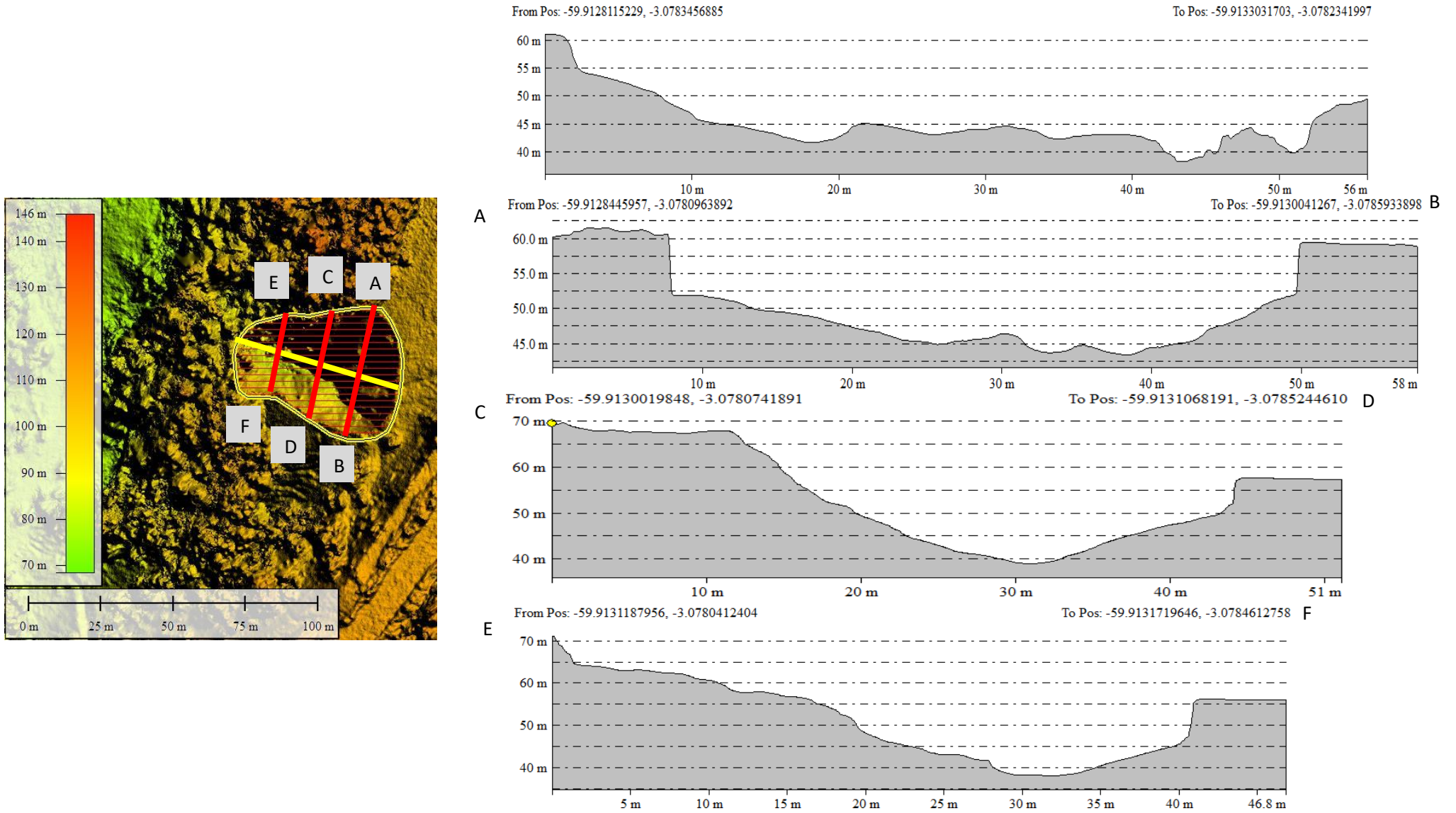


Figura 62: Monitoramento da voçoroca 01, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

A figura 63 apresenta comparação, entre os anos de 2017 e 2020, por meio de modelos digitais de elevação e imagens aéreas, com cotas de equidistância de 5 metros. Assim, foi possível notar fundo plano da voçoroca 01 e que em comparação entre os dois monitoramentos, o último (2020) proporciona uma presença maior de sedimentos acumulados à jusante da incisão. Outro ponto pertinente que a imagem revela, é que em 2020, as curvas de nível apresentam-se mais próximas, revelando que as paredes estão mais íngremes.

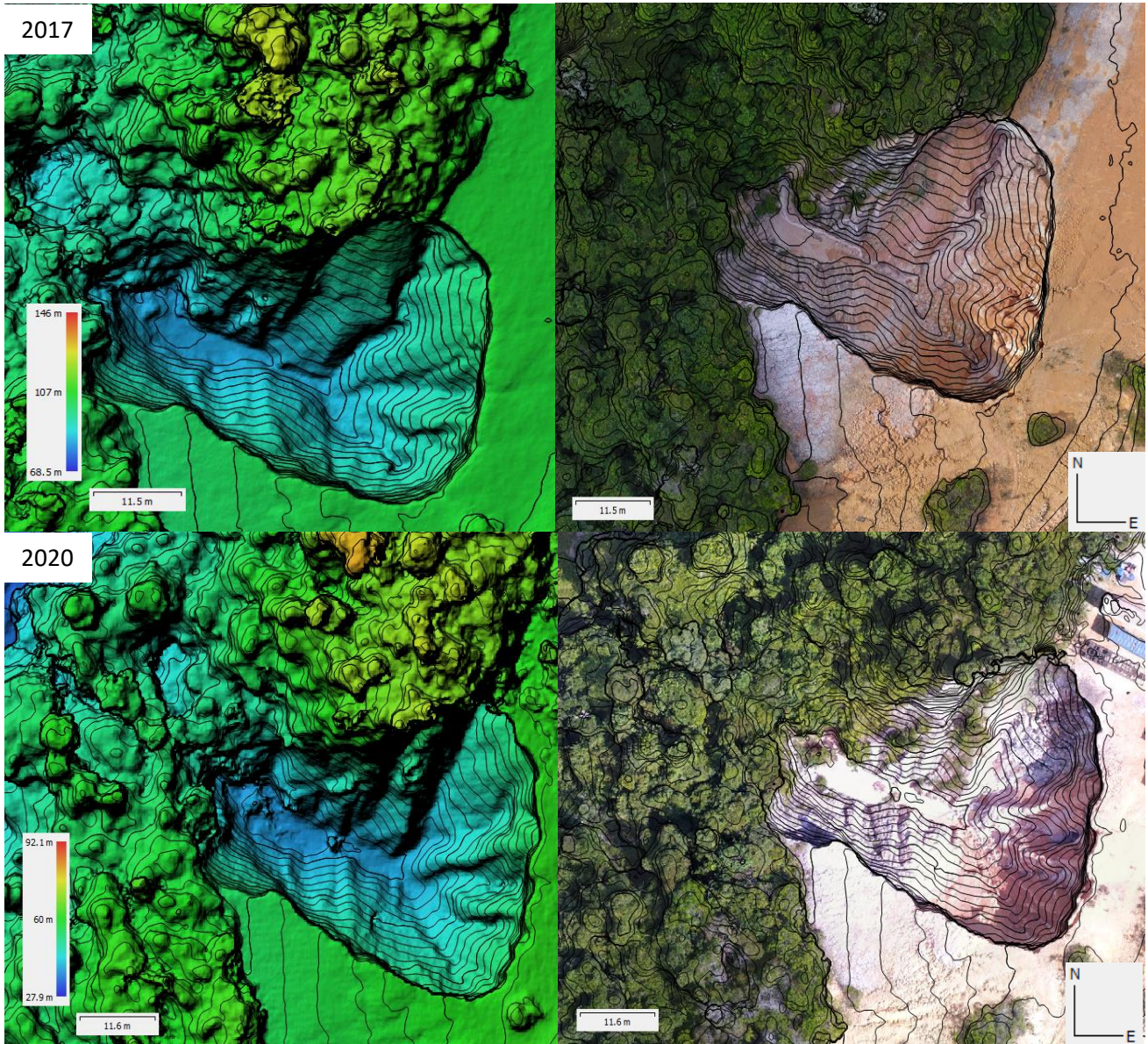


Figura 63: Voçoroca 01, nos monitoramentos, referentes de 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior. A esquerda dos modelos digitais do terreno e à direita imagens ortoretificadas, todos com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Além disso, o uso ao redor da voçoroca também foi alterado, visto que no monitoramento mais recente, a borda direita da voçoroca apresenta ocupação por contêineres, que gera um potencial risco a este empreendimento, pois ainda que a voçoroca tenha a pista

(sudoeste/noroeste) como direção de crescimento, esta também, cresce lateralmente, podendo alcançar esta estrutura recente. Além disso, o peso desse empreendimento e do maquinário aumenta a compactação do solo e intensificam o processo de escoamento superficial nesta borda.

A **voçoroca 2** nos dois monitoramentos, segundo os modelos usados por (OLIVEIRA, 1989) em termos de tipo (OLIVEIRA, 1989) manteve-se classificada como conectada e no modelo de Vieira (2008) como linear.

Tal qual a voçoroca 01, a classificação de conectada, indica potencial de crescimento da incisão em direção ao interflúvio e à pista que é sua fonte primária, uma vez que a água escoada por ela gera o escoamento concentrado, contribuindo para a expansão desta voçoroca. Isso também, explica sua forma, pois a “forma linear estaria ligada à existência de uma zona principal de convergência de drenagem” (VIEIRA, 2008).

Quanto ao volume erodido, o material removido foi de 42173,50 m³, o que a classifica como “muito grande” pelo modelo de Vieira e Albuquerque (2004). Na tabela 10, há a síntese dos dados dos monitoramentos, na qual se observa que a voçoroca apresentou crescimento na sua largura. Porém, nos três perfis realizados para mensurar esse item, o maior crescimento se deu no perfil EF, com crescimento de 2,62 m. Nessa mesma porção, próximo à margem F do referido perfil, há um bloco instável que fará com que a largura nesse ponto cresça ainda mais.

Tabela 10: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referentes à voçoroca 02.

Voçoroca 02			
Parâmetros	2017	2020	Alterações
Perfil Transversal AB (m)	23,38	22,49	0,10
Perfil Transversal CD (m)	21,73	21,92	0,18
Perfil Transversal EF (m)	21,62	24,24	2,62
Média dos perfis (m)	22,24	22,88	0,64
Perfil longitudinal (m)	84,04	84,59	0,54
Profundidade (m)	26,79	21,89	-4,90
Área (m ²)	1 869,44	1 926,87	57,44
Volume (m ³)	50 084,06	42 173,50	-7910,56

Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

A profundidade teve uma redução, mas é condizente com a quantidade de material erodido, no seu interior, uma vez que a área da incisão cresceu em 57,44 m², totalizando em 1926,87 m². E devido à redução da profundidade houve uma alteração negativa no volume ficando com 42173,50 m³, contudo, ao se considerar a profundidade anterior com a área mais

recente, é possível inferir que a voçoroca teve, até 2020, um volume erodido total de 51.620,84 m³.

As figuras 64 e 65 são referentes aos monitoramentos, de 2017 e 2020, respectivamente. Ao se comparar os perfis longitudinais dos dois anos, nota-se que há um acúmulo de sedimentos maior no perfil de 2020, o que exemplifica o porquê de a profundidade ter reduzido.

Os perfis AB e CD dos anos de 2017 quando comparados com 2020 apresentam suavização, que revela que os materiais desprendidos das paredes para o fundo da incisão passaram por processo de rebaixamento. Como citado anteriormente, o perfil EF de 2020 apresenta uma das paredes com uma incisão denotando instabilidade, o que pode gerar uma queda desta, possivelmente, via movimento de massa do tipo queda em bloco, os mais recorrentes nas voçorocas estudadas na bacia (FROTA FILHO, 2016).

Na figura 66, o modelo digital de elevação, referente ao ano de 2020, apresenta próximo da cabeceira um fundo mais plano quando comparado ao monitoramento anterior.

O grupo de imagens da figura 18 exemplifica, que após uma incisão ser caracterizada como “grande”, estas apresentam crescimento menos dependentes de escoamento superficial. Pois, devido as suas dimensões, a chuva cai diretamente promovendo o destaque ao transporte de partículas, intensificando a formação de escoamento interno nas paredes e no fundo da voçoroca.

Este escoamento nas paredes das incisões pode gerar feições erosivas secundárias como as alcovas de regressão, que desestabilizam a parede acima desta, promovendo o desmoronamento de parte da parede da voçoroca, onde está inserida. Outras feições que atuam na ampliação da voçoroca são os sulcos e ravinas nas bordas, como exemplificado, na figura 06 da voçoroca 01 e no perfil EF da imagem 14, pois esses canais concentram água da chuva para o interior da voçoroca e com isso contribuem para a expansão desta.

- Voçoroca 02 (Monitoramento de 2017 - 2020)

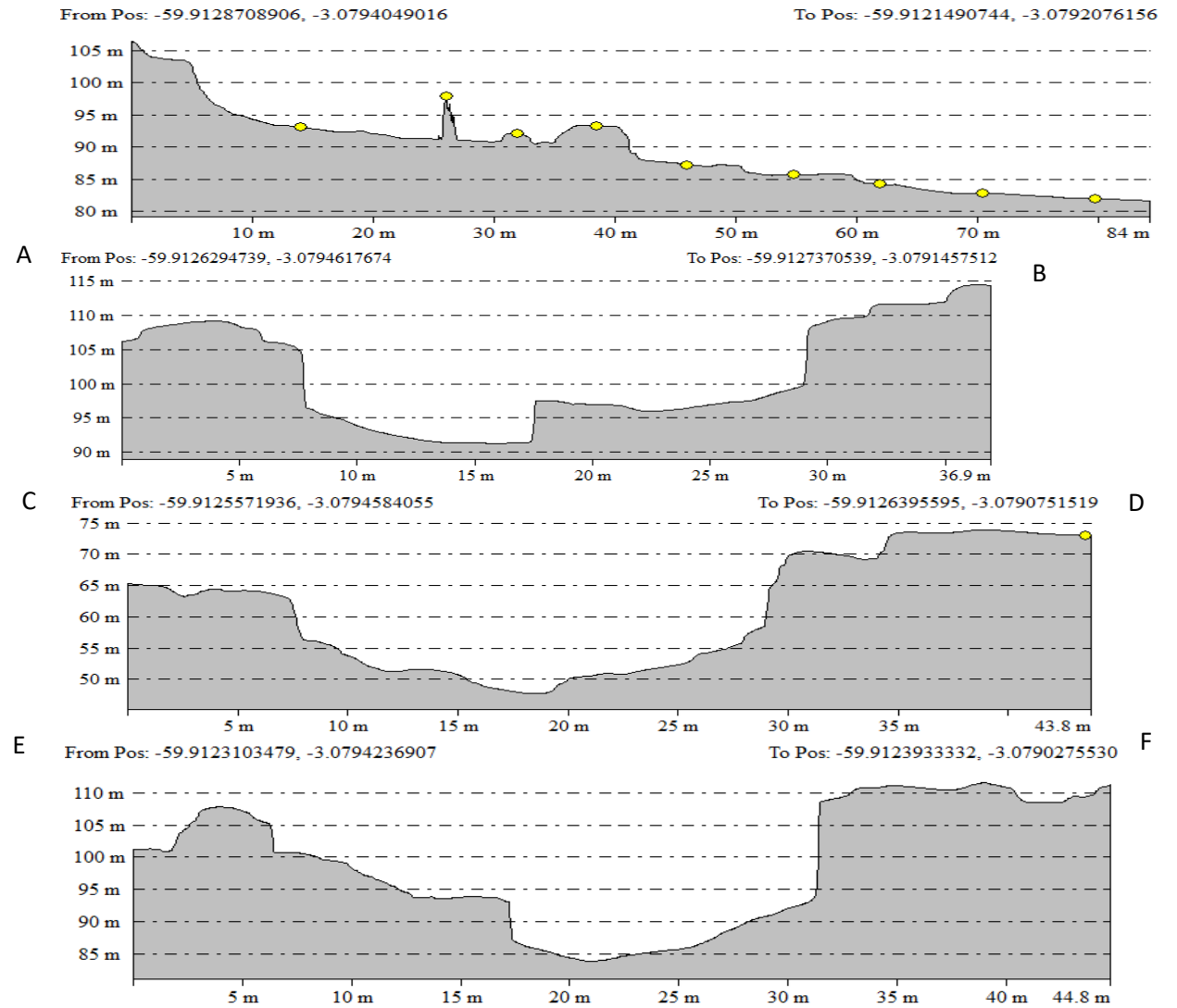
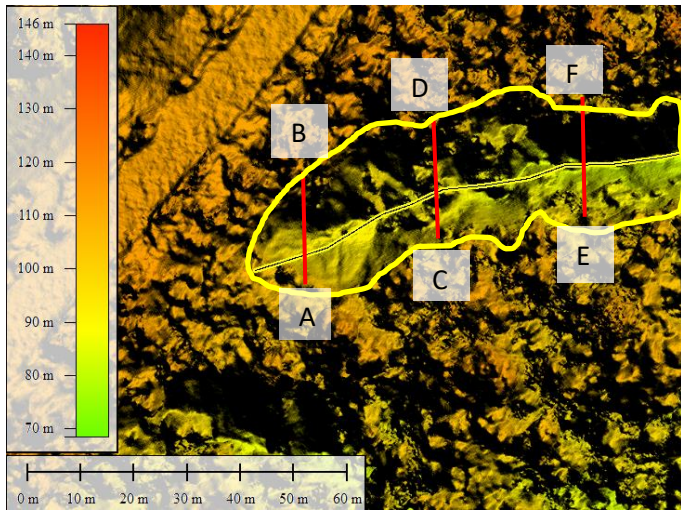


Figura 64: Monitoramento da voçoroca 02, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

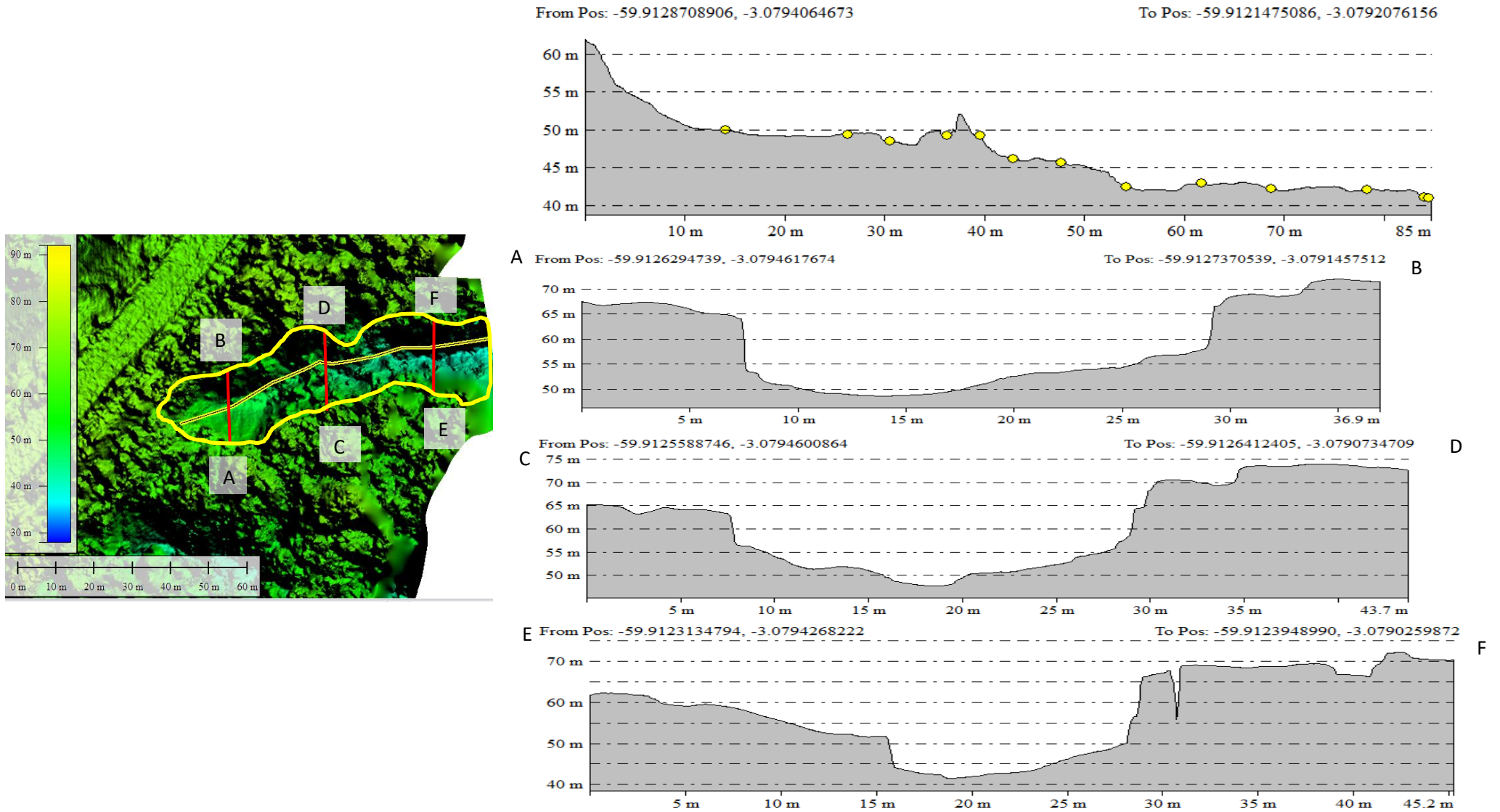


Figura 65: Monitoramento da voçoroca 02, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

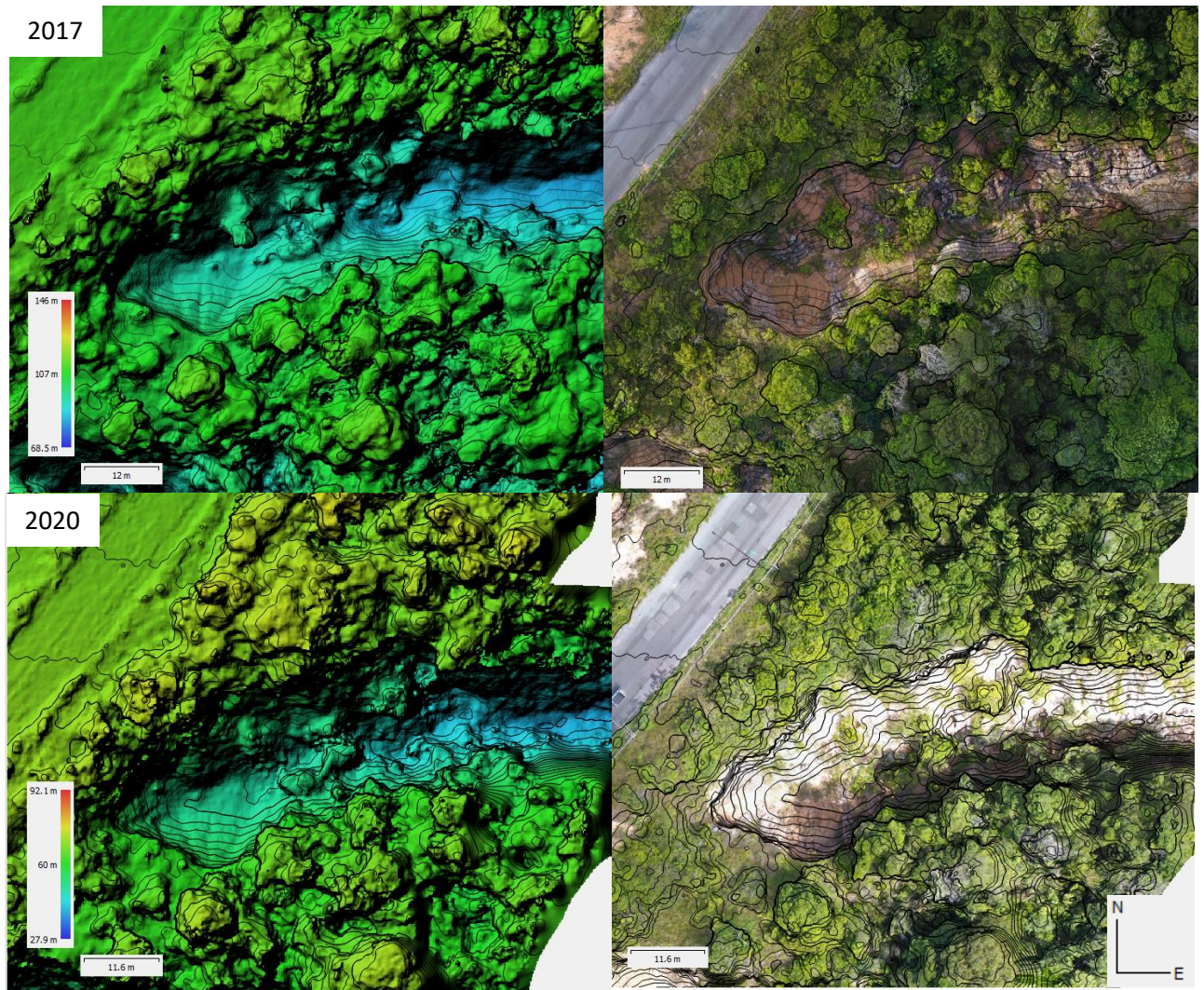


Figura 66: Voçoroca 02, nos monitoramentos referentes a 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior. A esquerda dos modelos digitais do terreno e à direita imagens ortoretificadas, todos com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Diferente dessas feições de retrabalhamento, a vegetação existente tanto na porção externa, quanto no interior da voçoroca, tende a atenuar o crescimento desta, muito embora, nem sempre consiga ser eficiente nesse papel, pois depende sobretudo do volume precipitado.

Visto que a vegetação aumenta a infiltração e reduz o escoamento superficial, a exemplo disso, há a baixa taxa de expansão dos perfis AB e CD. Porém, como dito anteriormente, pelas suas dimensões, o processo de destaque e transporte ocorre, ainda que em menor proporção, e as áreas com pouca vegetação apresentam crescimento, vide perfil EF.

As voçorocas 03 e 04 possuem características semelhantes, em especial, por estarem na mesma vertente, dessa forma, via os monitoramentos de 2017 e 2020, ambas são classificadas como desconectadas, segundo modelo de Oliveira (1989), isso significa que as incisões estão mais próximas ao interflúvio e desconectadas da rede de drenagem.

Considerando que voçorocas são denominadas de feições de crescimento remontante, ou seja, crescem contra o fluxo, em direção ao topo da encosta, ambas as incisões estão próximas ao processo de estabilização natural devido à redução da área de contribuição dos escoamentos. Quanto à forma, pelo modelo de Vieira (2008), ambas são classificadas como retangulares, corroborando que as incisões estão próximas ao processo de estabilização.

A voçoroca 03 é classificada como “muito grande”, conforme Vieira e Albuquerque (2004), na tabela 11, com os dados do monitoramento é notável que a voçoroca teve crescimento, que se intensifica encosta abaixo, a evolução entre os perfis AB, CD e EF é de 2,62 m, 3,74m e 10,90 m, respectivamente, ainda que a voçoroca praticamente não tenha crescido longitudinalmente (0,11m).

Isso ocorre, porque a encosta tem característica côncava e segundo Stabile e Vieira (2009), apresentam maior convergência de fluxos permitindo o acréscimo do potencial erosivo, assim, à medida que se aproxima do sopé da encosta, a força de destaque e transporte se intensifica, alargando a incisão.

Essa baixa taxa de crescimento longitudinal se deve em parte por sua posição na encosta, tendo pouca área de contribuição, porém um fator determinante é que uma canaleta que estava localizada na cabeceira da voçoroca foi fechada, e com isso sem sua principal fonte de escoamento concentrado, houve redução no seu crescimento.

Tabela 11: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referentes à voçoroca 03.

Voçoroca 03			
Parâmetros	2017	2020	Alterações
Perfil Transversal AB (m)	54,13	56,75	2,62
Perfil Transversal CD (m)	53,01	56,75	3,74
Perfil Transversal EF (m)	44,92	55,81	10,90
Média dos perfis (m)	50,69	56,44	5,75
Perfil longitudinal (m)	61,61	61,72	0,11
Profundidade (m)	34,69	26,62	-8,07
Área (m ²)	3 122,67	3 483,38	360,71
Volume (m ³)	108 322,39	92 713,75	-15 608,65

Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Devido a este crescimento maior na porção jusante da voçoroca, a parede que separa as voçorocas 03 e 04 está colapsando aos poucos. Na figura 67, é possível notar como as paredes estão estreitas e nas figuras 68, 69 e 70 há o recuo das paredes em ambos os lados, e no perfil EF, referente a 2020 (FIGURA 69), a parede do lado F desmoronou.

No monitoramento de 2020, a profundidade reduziu de 34,69 m para 26,62 m, pois o material que havia se depositado e acumulado das paredes das incisões foi sendo movimentado para a base, e se rebaixando.



Figura 67: Parte da parede direita da voçoroca 03 colapsada. Em linha vermelha tracejada, simula o formato da parede antes do desmoronamento. Fonte Armando Brito da Frota Filho, 2019.

A voçoroca apresentou crescimento $360,71\text{m}^2$ de área e devido aos sedimentos a diferença de profundidade foi de 8 metros, o que resultou numa redução do volume erodido de $108\,322,39\text{ m}^3$ para $92\,713,75\text{ m}^3$, contudo se for utilizado à profundidade de 2017 com a área de 2020, tem-se um volume erodido total possível de $120\,838,45\text{m}^3$.

Na figura 22, há os modelos digitais de elevação e imagens áreas com curvas de nível de equidistância de 5 metros das voçorocas, 03 e 04 dos anos de 2017 e 2020. Em ambas as incisões houve aplainamento da superfície sedimentada, como pode ser visto pela diferença de curvas de nível. Outro ponto pertinente é que as duas incisões alargaram e apresentam cabeceiras mais arredondadas se assemelhando ao modelo de Vieira (2008) de voçorocas retangulares.

- Voçoroca 03 (Monitoramento de 2017 – 2020)

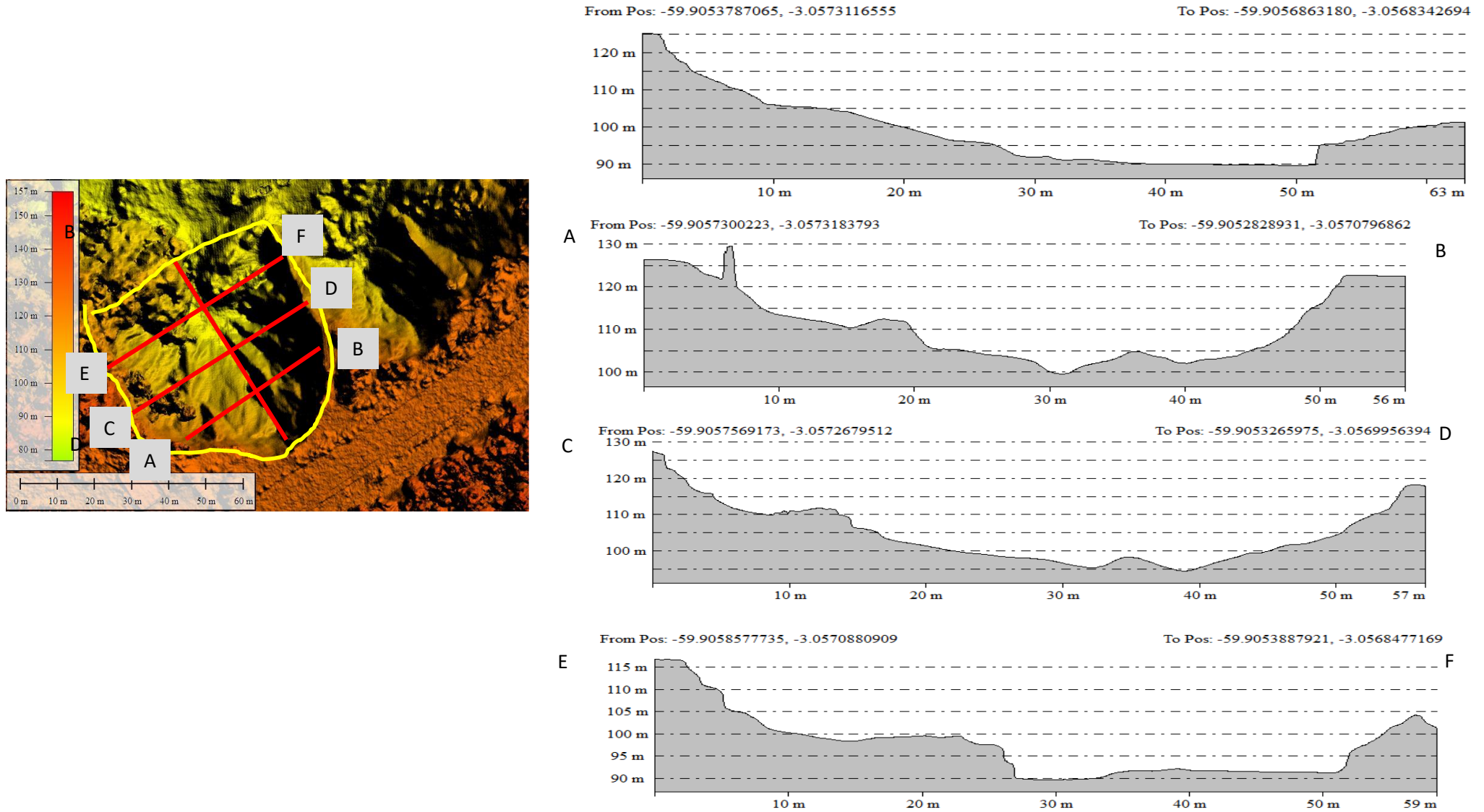


Figura 68: Monitoramento da voçoroca 03, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

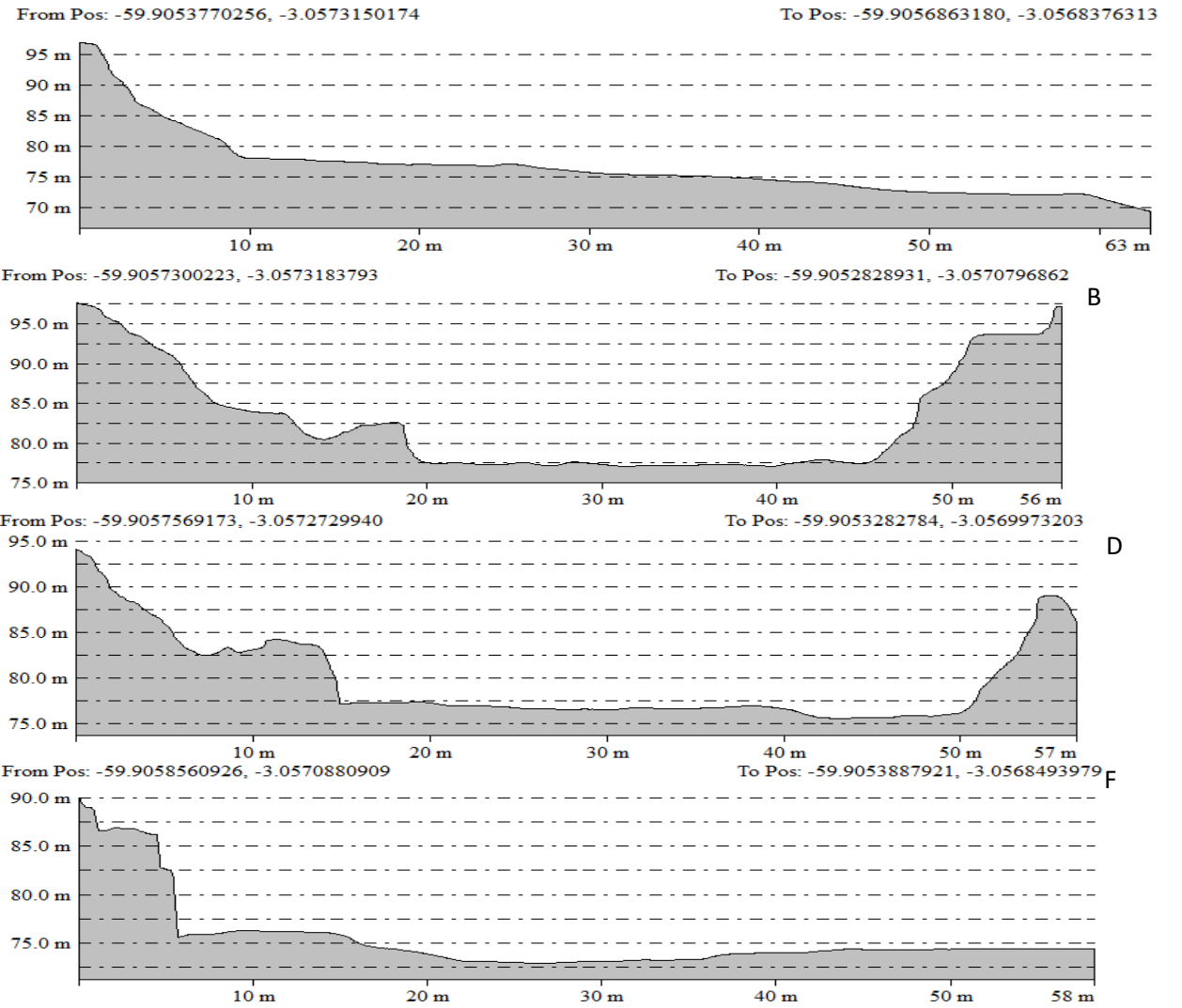
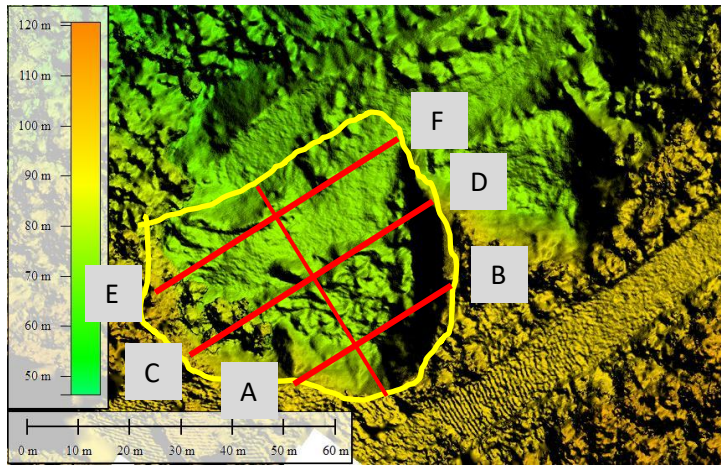


Figura 69: Monitoramento da voçoroca 03, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

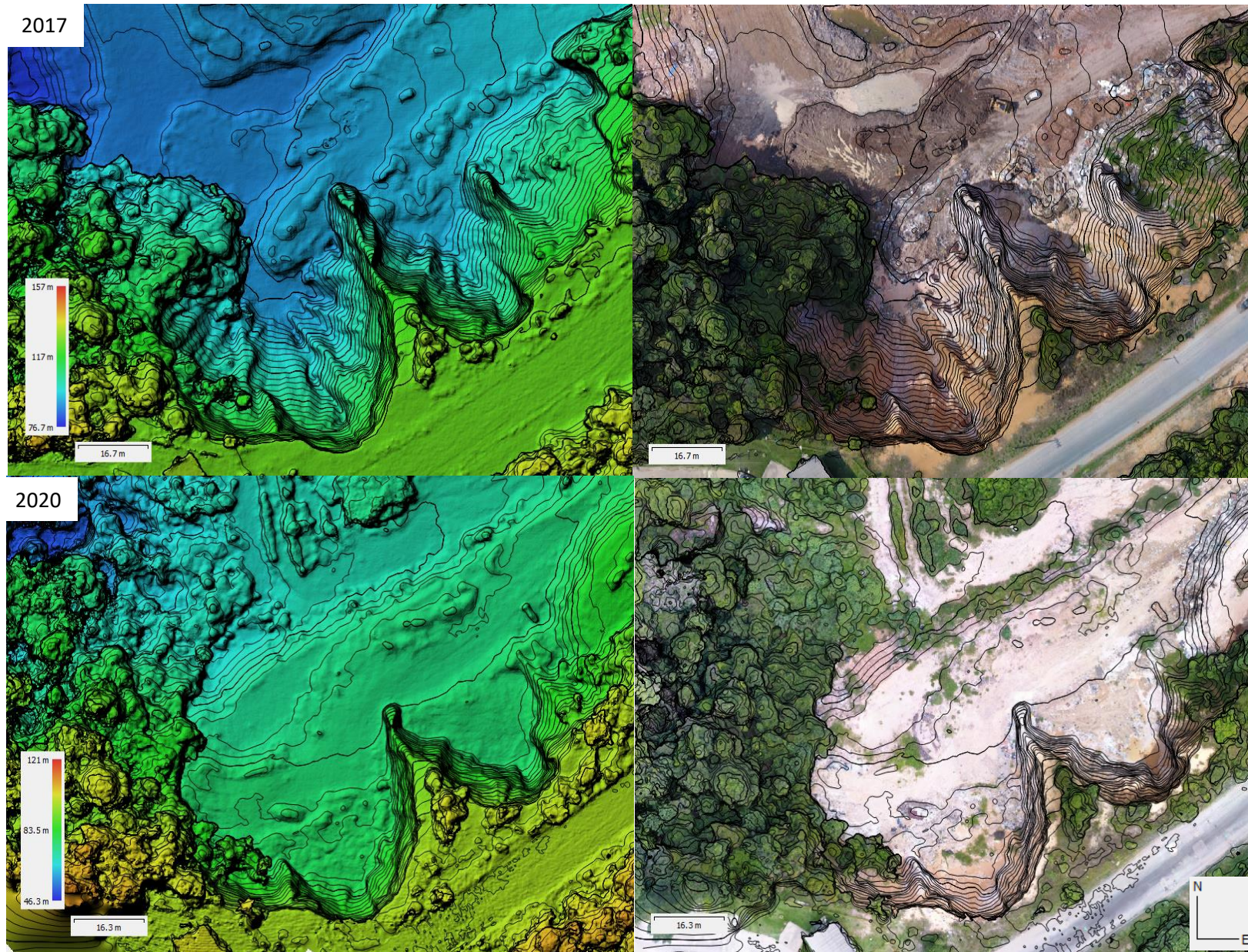


Figura 70: Voçoroca 03 e 04, nos monitoramentos, referentes a 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior. A esquerda dos modelos digitais do terreno e à direita imagens ortoretificadas, todos com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

A parede entre as voçorocas 03 e 04 está em processo de colapso, visto que está ficando mais estreita devido ao processo erosivo e o mesmo vem ocorrendo com a outra parede da voçoroca 04. Isso fará com que as incisões se unam temporariamente e que percam suas características de voçoroca, pois não terão as paredes verticais que são parte da configuração.

Conforme o modelo dimensional de Vieira e Albuquerque (2004) a voçoroca 04 é de tamanho “muito grande”, ainda que ela tenha “diminuído” (TABELA 12), pois como citado acima, as suas paredes mais à jusante da voçoroca caíram, e isso fez com sua área, de forma geral, tenha reduzido. Os perfis AB e CD apresentam crescimento de 2,03 e 0,91 m, respectivamente.

Com a finalidade de ter uma noção mais próxima de quanto foi erodido pela voçoroca 04, de forma aproximada considerou-se que a parede não tivesse caído, e a incisão com sua maior profundidade registrada, assim, sua área seria de 1.565,91 m², e o volume de 51.362,03 m³.

Tabela 12: Síntese dos parâmetros analisados nos monitoramentos referente a voçoroca 04.

Voçoroca 4			
Parâmetros	2017	2020	Alterações
Perfil Transversal AB (m)	31,57	33,60	2,03
Perfil Transversal CD (m)	33,59	34,50	0,91
Perfil Transversal EF (m)	30,53	0,00	-30,53
Média dos perfis (m)	31,90	22,70	-9,20
Perfil longitudinal (m)	47,63	33,40	-14,23
Profundidade (m)	32,80	25,77	-7,03
Área (m ²)	1519,32	758,20	-761,12
Volume (m ³)	49833,64	19536,60	-30297,04

Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Quanto à evolução dos perfis, o perfil EF não consta no monitoramento de 2020, pois as paredes de ambos os lados caíram. O perfil AB entre os dois monitoramentos cresceu em 2,03 m, porém a superfície deposicional passou por processo de aplainamento (figura 23,24 e 25).

O perfil CD evoluiu com o aplainamento e apresenta o mesmo formato que o perfil EF, em 2017. A elevação perto da parte D do perfil é um remanescente da parede da voçoroca. E nas imagens é possível notar que a voçoroca tomou um formato mais arredondado.

- Voçoroca 03 (Monitoramento de 2017 - 2020)

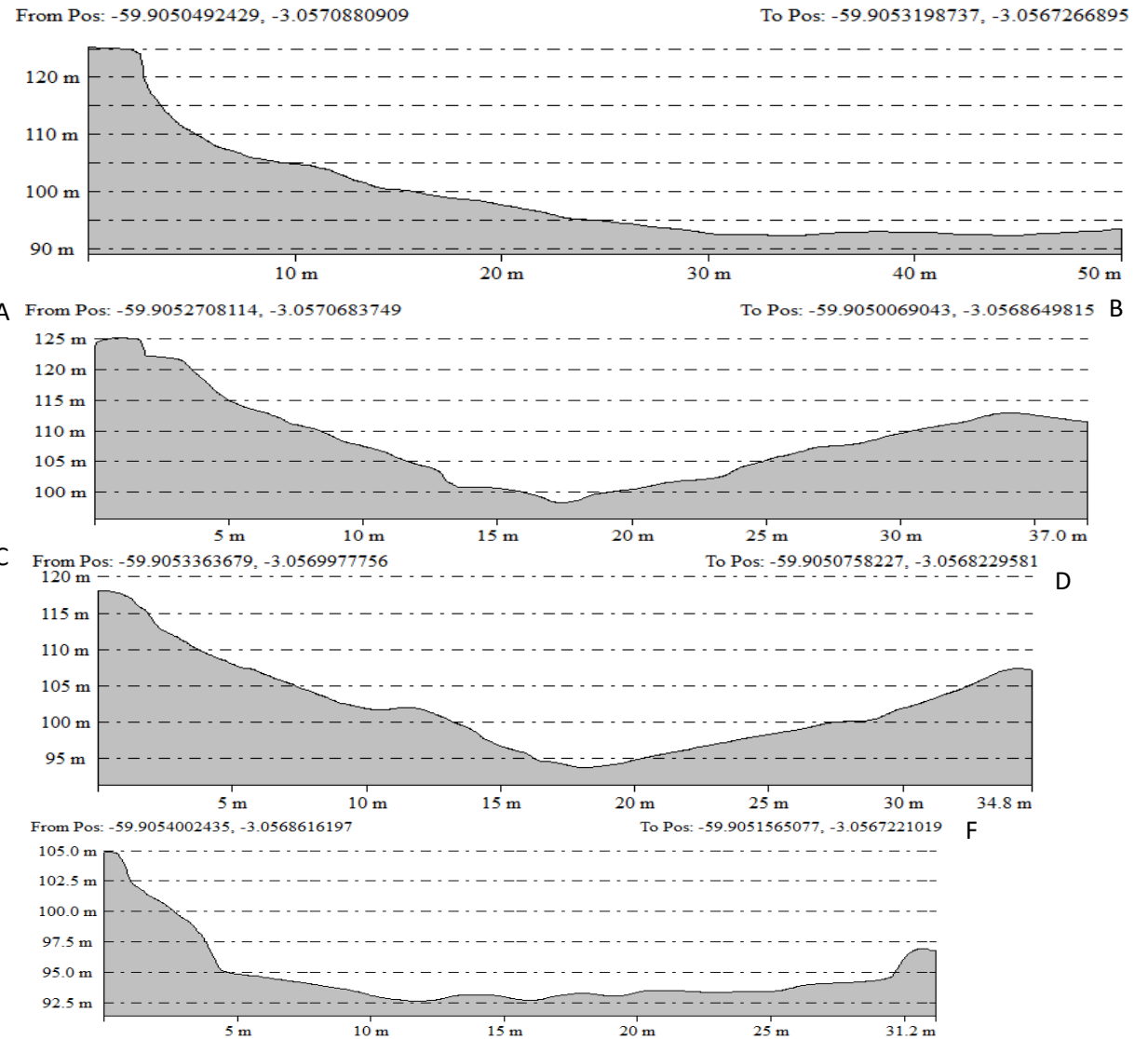
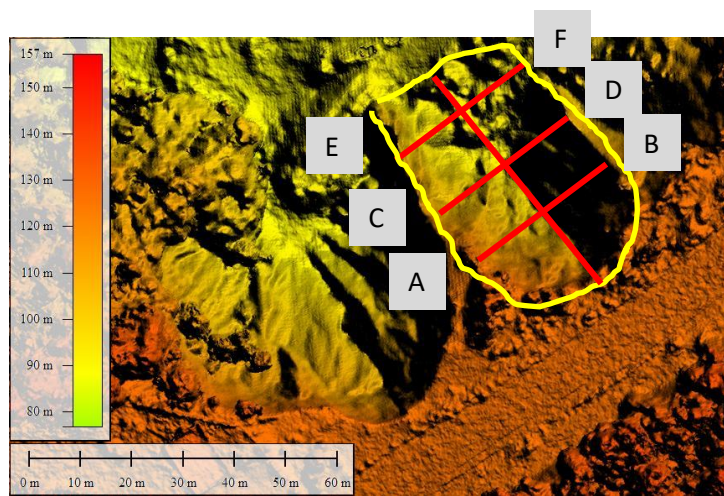


Figura 71: Monitoramento da voçoroca 04, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2017. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB, CD e EF), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

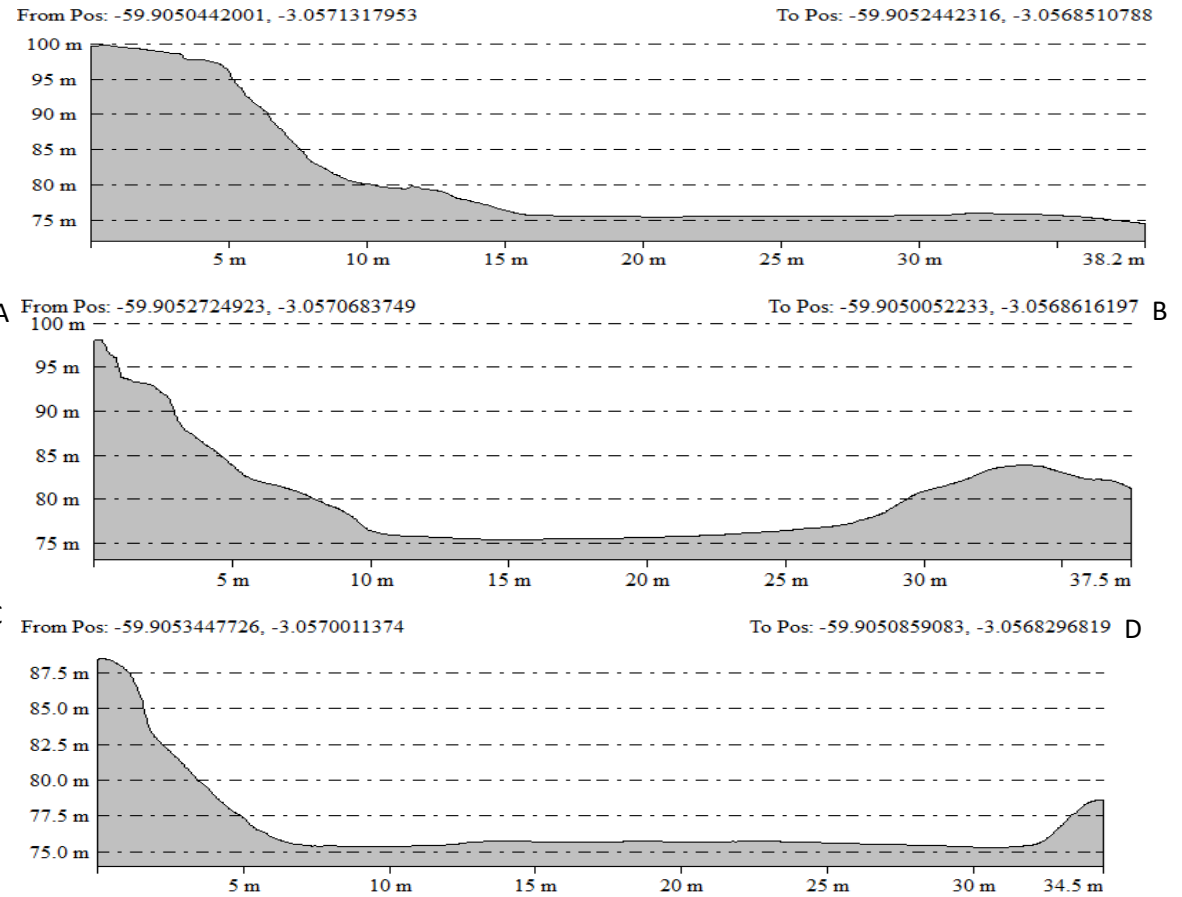
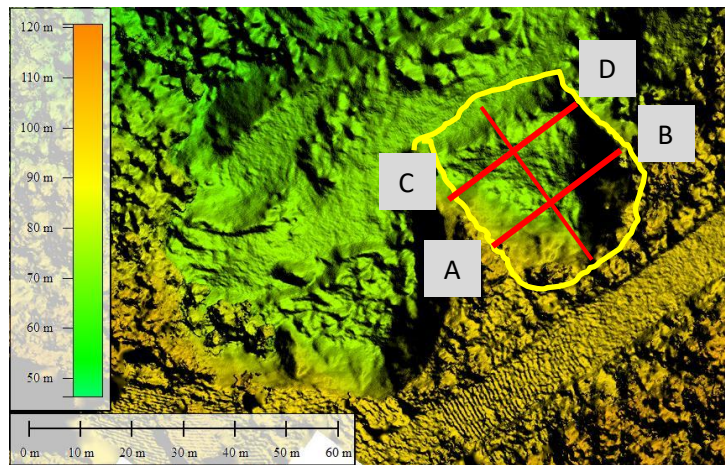


Figura 72: Monitoramento da voçoroca 04, bairro Distrito Industrial II, realizado em 2020. Modelo digital do terreno, à esquerda, com os traçados do perfil longitudinal e dos transversais (AB e CD), ao lado esquerdo os perfis suas coordenadas geográficas. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

O entendimento das questões morfométricas, permite uma análise do impacto que as incisões causam tanto em termos ambientais como urbanísticos. Vide exemplo da área e do volume erodido, que permitem uma abordagem de possíveis locais de risco e dos impactos na rede hidrográfica e qualidade da água. Além de permitir uma abordagem sobre a forma e o custo da contenção das feições.

O estudo da morfologia, ou seja, dos atributos que dão configuração como o Tipo (OLIVEIRA, 1989) e Forma (VIEIRA, 2008) auxiliam no entendimento dos seus processos evolutivos, enquadrando as voçorocas em estágios evolutivos e com isso apontar possíveis cenários para o futuro.

De forma geral, as voçorocas analisadas apresentam algumas características semelhantes, principalmente, no que tange ao seu surgimento e desenvolvimento associado à interação humana, que em sua maior parte está associada à canaletas ou vias que fornecem de alguma forma, um fluxo de água concentrado que intensifica o processo erosivo e comanda seu direcionamento e expansão (QUADRO 11). Enquanto, de forma geral, todas as incisões se desenvolveram próximas às rodovias que são quebra de declive, assim tendo como gatilho o fator antrópico.

Quadro 11: Síntese das características das voçorocas monitoradas.

Org.:	Voçoroca	Tipo (OLIVEIRA, 1989)	Forma (VIEIRA, 2008)	Tamanho (VIEIRA e ALBUQUERQUE, 2004)	Direção do crescimento da incisão
	01	Conectada	Retangular	Grande	Sudeste – Noroeste / em direção a pista
	02	Conectada	Linear	Muito grande	Oeste – leste / em direção a pista
	03	Desconectada	Retangular	Muito grande	Norte – Sul / em direção a pista, canaleta
	04	Desconectada	Retangular	Muito grande	Norte – Sul / em direção a pista

Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Ao se considerar simultaneamente o tipo e forma, as voçorocas 03 e 04 estão próximas ao processo de estabilização. A voçoroca 01, apesar da forma retangular que indica maior estabilidade, ainda está longe do interflúvio, logo apresenta potencial para crescimento, visto apresentar uma boa área de contribuição à montante. E a voçoroca 02, apesar de linear, está próxima do interflúvio, tendo potencial para ser uma voçoroca do tipo integrada, conectando a rede de drenagem ao interflúvio, e como visto, ela está crescendo lateralmente, podendo ser uma voçoroca retangular.

5.4 Caracterização pedo hidro geomorfológicas da bacia Colônia Antônio Aleixo

Atualmente, existem poucos trabalhos sobre as características pedológicas da bacia Colônia Antônio Aleixo. Neste sentido, os trabalhos mais relevantes são os de Lucas (1989), Leal (1996) e Vieira (2008), mostrando um aspecto mais panorâmico dos atributos do solo da área. Localmente, foi realizada topossequência na bacia, encontrando na mesma vertente Latossolo, Argissolo e Neossolo Quartzarênico (FROTA FILHO, 2016).

Com o intuito, de atingir uma análise mais profunda sobre a questão hidro erosiva, foram realizadas coletas de solos, em três pontos distintos da bacia, que representassem os tipos de uso do terreno e condições do solo da bacia, sendo um ponto em área com cobertura vegetal, e dois pontos em solos expostos, não sendo coletado em área urbana devido à impermeabilização do solo.

Foram considerados quatro conjuntos de parâmetros do solo: físicos, químicos, biológicos e morfológicos. Juntamente a cada coleta de solo foram realizados testes de resistência à penetração e de infiltração e os resultados das análises granulométricas de solo foram inseridos no triângulo textural da EMBRAPA (2018).

As coletas de solo foram realizadas em Latossolos Amarelo, com base nos trabalhos de Lucas (1989) e Frota Filho (2016). Estas coletas foram realizadas, com o intuito de caracterizar, os diferentes usos do solo da bacia, assim sendo, foram coletadas amostras em: local com vegetação e presença de todos os horizontes pedológicos; e dois que passaram por processos de interferência antrópica distintos (QUADRO 12).

Quadro 12: Síntese das informações gerais dos pontos de coleta de solo, na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus - AM.

Ponto	Posição da encosta	Forma da superfície	Drenagem do solo do local	Vegetação local	Pedregosidade / Rochosidade	Erosão	Ação Humana
01	Topo / terço superior da encosta	Levemente inclinado	Solo bem drenado	Floresta secundária	Não rochoso / sem pedregosidade	Não aparente	Sem ação antropogênica aparente
02	Topo	Plano	Solo mal drenado	Ausente	Não rochoso / sem pedregosidade	Superficial	Terraplanagem (Retirada do horizonte O e A)
03	Topo	Plano	Solo mal drenado	Ausente	Não rochoso / sem pedregosidade	Superficial e presença de ravinas	Terraplanagem (Retirada do horizonte O, A e parte do B)

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

5.4.1 Descrição dos pontos de coleta

O primeiro (1) ponto de coleta está localizado em área de pouca influência antrópica ou do processo de urbanização, em área com vegetação relativamente densa, o acesso à área é realizado por meio de estrada (FIGURA 73).



Figura 73: Acesso ao local do ponto de coleta 01, bacia Colônia Antônio Aleixo.
Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

O segundo (2) ponto de coleta passou por remoção da cobertura vegetal original, além de terraplanagem com retirada do horizonte O e A, fazendo com que o local tenha grande influência de erosão pelas águas pluviais, que desencadeou duas voçorocas (FIGURA 74).



Figura 74: Imagem por VANT do ponto amarelo marca o local de coleta de amostra 02, próximo à borda da voçoroca (linha tracejada em vermelho), na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM. Fonte: VANT - LATOSSOLO 1, 2018.

O terceiro (3) ponto de coleta passou por intenso processo de movimentação de solo, no qual foram retirados os horizontes O, A e parte do B, além do processo de adensamento do solo,

via maquinário pesado, que atuou na área. Com isso, as argilas oxídicas ficaram expostas, o que permitiu o aceleramento do processo de formação de crostas ferruginosas e intensificação de escoamento superficial, e, conseqüentemente, de processos erosivos (FIGURA 75). Esses processos contribuem diretamente para o crescimento da voçoroca que se encontra no local. Na figura 76, é possível observar o volume de solo retirado, por processo de terraplanagem.



Figura 75: Local do ponto nº 03 de coleta de amostras de solo e realização de teste resistência à penetração e infiltração, bacia Colônia Antônio Aleixo. Notar a presença de crostas ferruginosas. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.



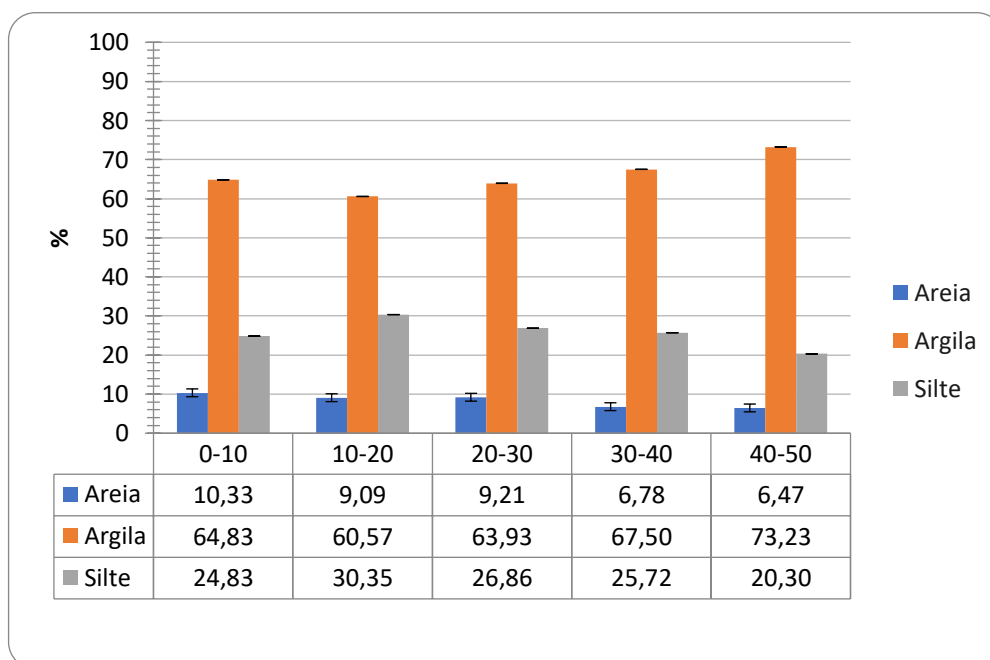
Figura 76: Voçoroca localizada, no bairro Distrito Industrial II, BH Colônia Antônio Aleixo. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

5.4.2 Análise do ponto de coleta 1

O ponto (1) é um local com pouca interferência antrópica, apresentando vegetação arbórea e horizonte orgânico, nesse caso, o que foi coletado são os 50 cm iniciais dos horizontes

pedológicos minerais (Hz A). As propriedades físicas do solo nesse ponto, em teoria, se aproximam do que seria o natural para a bacia. Apresenta um solo “muito argiloso” (*clay*) em todos os intervalos analisados, com predomínio de mais de 60% de argila em todos os intervalos, variando entre 60,57 a 73,23% (GRÁFICO 11).

Gráfico 11: Granulometria das amostras de solo no ponto 1, terço médio da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus, AM.



Org. Armando Brito da Frota Filho

No que tange às frações mais erodíveis (silte e areia fina a muito fina), o solo apresenta fragilidade, frente ao potencial erosivo da chuva, visto que esse parâmetro varia entre 23,00 a 33, 91%, (TABELA 13). Entretanto, o potencial erosivo é mitigado pela estrutura microagregada e boa drenagem no solo, associado a presença da vegetação e da camada orgânica, que o protegem.

Quanto à densidade de solo, a mesma variou entre 1,13 a 1,18 g/cm³, enquanto a densidade real oscilou entre 2,22 a 2,50 g/cm³. No intervalo de 10 a 20 cm houve aumento de silte e redução da argila, com valores de 30,4% 60,57%, respectivamente, que influenciaram nos valores de densidades do solo e partículas. Enquanto, que no intervalo de 40 a 50 cm ocorre o inverso, com valores de argila de 73,23% e silte com 20,30%.

Tabela 13: Características físicas das amostras de solo no ponto 1, terço médio da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo.

Prof. (cm)	Características Físicas				
	Silte + Areia		Densidad e do solo/	Densidad e de	

		(Fina e Muito Fina) (%)	Relação silte/argila	aparente (g/cm ³)	partículas /real (g/cm ³)	Porosidade Total (%)	
Ponto 01	0-10	29,14	0,39	1,13	2,27	50,21	
	10-20	33,91	0,50	1,17	2,22	47,32	
	20-30	30,25	0,42	1,18	2,44	51,63	
	30-40	28,52	0,38	1,18	2,50	52,92	
	40-50	23,00	0,28	1,15	2,50	53,97	
	Média	28,96	0,39	1,13	2,27	51,21	

Org. Armando Brito da Frota Filho.

A porosidade total teve variância de 47,32 a 53,97 %, em especial, devido aos teores de matéria orgânica, presença de raízes e animais (FIGURAS 77 e 78), que aumentam a porosidade pelo processo de bioturbação (LEPSCH, 2011).

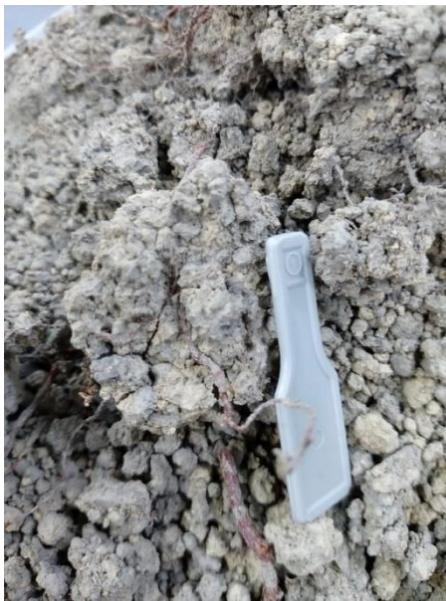


Figura 77: Porosidades e raízes no solo no Ponto 1. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.



Figura 78: Presença de minhocas no solo do ponto 1. Bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Outro ponto importante é a presença de cobertura vegetal que eleva a matéria orgânica no solo (TABELA 14), assim auxiliando o potencial de geração de agregados de maior estabilidade e mais resistentes. Um fato que ajuda a comprovar isso é a capacidade de retenção de umidade do solo, umidade gravimétrica do solo que foi de 16,88 %.

Tabela 14: Teor de carbono e matéria orgânica, nas amostras de solo no ponto 1, terço médio da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo.

	Carbono e Matéria orgânica			
	C (g/Kg)	M.O (g/Kg)	C (%)	M.O (%)
0-10	25,71	44,32	2,57	4,43
10-20	20,19	34,80	2,02	3,48
20-30	17,58	30,32	1,76	3,03
30-40	8,83	15,23	0,88	1,52
40-50	7,10	12,24	0,71	1,22
Média	15,88	27,38	1,58	2,74

Org. Armando Brito da Frota Filho.

Esses fatores têm relação direta com a resistência à penetração do solo, como pode ser observado, na figura 79. O solo apresentou taxa de resistência inicial baixa, nos 15 primeiros centímetros, sendo de 0,78 MPa e a partir desse ponto crescendo gradativamente.

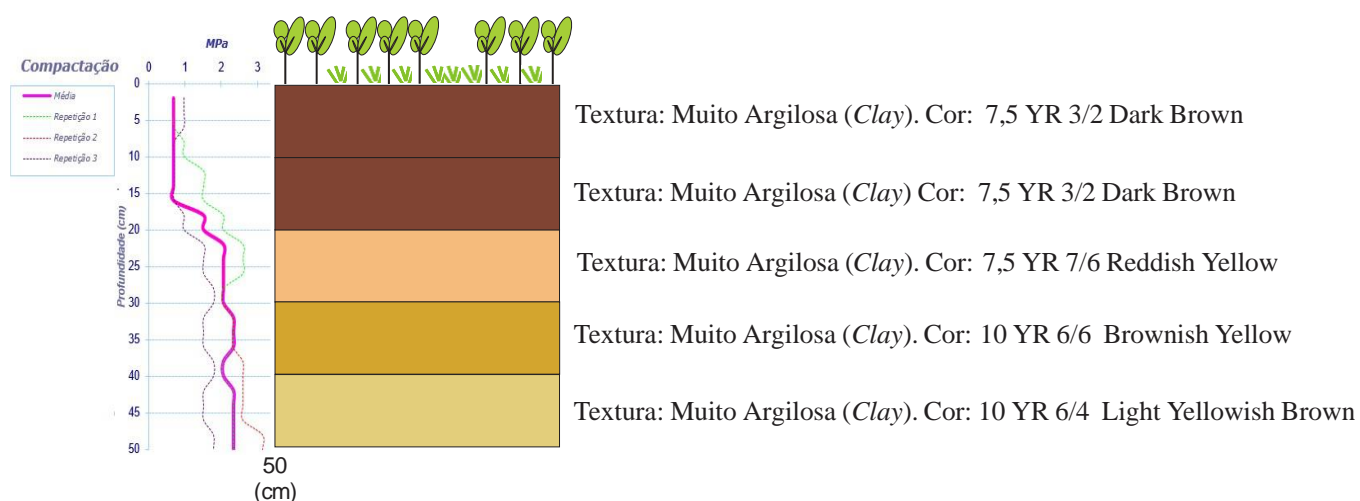


Figura 79: A – Teste de resistência à penetração; B – Ponto 1, no terço médio da encosta, bacia Colônia Antônio Aleixo. Org. Armando B. da Frota Filho.

Tendo como valor mais baixo 0,78 MPa na profundidade de 0 a 10cm e mais alto 2,42 MPa entre os intervalos de 32 a 36 cm e 42 a 50 cm (TABELA 15). Pereira *et al.* (2002) explicam que o aumento da resistência à penetração com a profundidade é característico de

solos com alto teor de argila. Esses valores variam entre muito baixo ($\leq 1,0$ MPa) a baixo (1,1 a 2,5 MPa) o que indicam que não há limitação alguma para o desenvolvimento de plantas (CANARACHE, 1990).

Tabela 15: Valores de resistência à penetração no ponto 1.

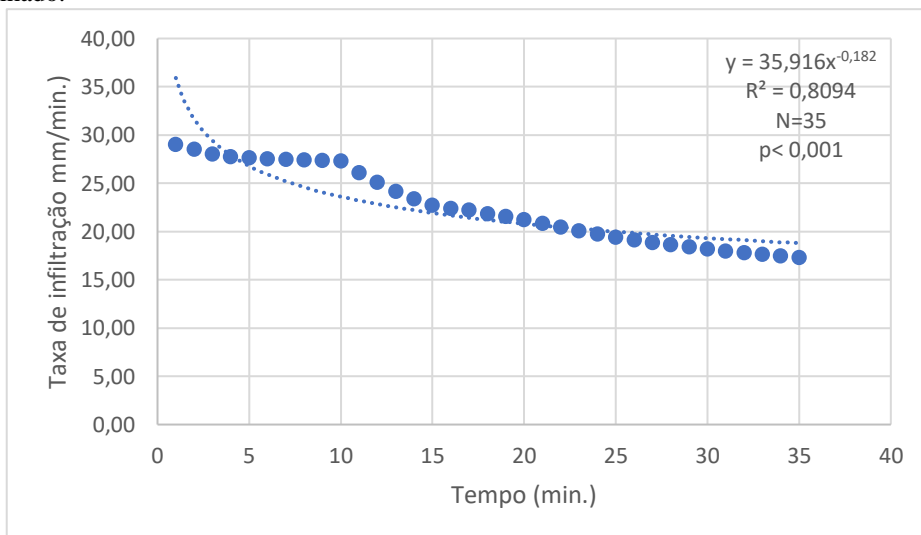
Profund. (cm)	MPa			
	T1	T2	T3	Media
0 - 5,0	0,69	0,69	0,97	0,78
5,0 - 10,0	0,97	0,69	0,69	0,78
10,0 - 15,0	1,51	1,51	0,69	1,24
15,0 - 20,0	2,69	2,06	0,97	1,91
20,0 - 25,0	2,6	2,06	1,51	2,06
25,0 - 30,0	2,06	2,06	1,78	2,06
30,0 - 35,0	2,33	2,33	1,51	2,15
35,0 - 40,0	2,06	2,60	1,78	2,15
40,0 - 45,0	2,33	2,60	1,51	2,33
45,0 - 50,0	2,33	3,15	1,78	2,42

T = Tradagem

Org: Armando Brito da Frota Filho.

Ademais, o teste de infiltração durou 35 minutos e apresentou taxa de infiltração inicial de 29,0 mm/min, última de 17,3 mm/min e média de 22,6 mm/min., resultando no gráfico 12, que apresenta curva pouco acentuada e com altas taxas de infiltração.

Gráfico 12: Teste de Infiltração realizado, no terço superior da vertente - Ponto 1, com linha de tendência em pontilhado.



Org. Armando Brito da Frota Filho.

Esta dinâmica é resultado da uniformidade textural do solo, “argiloso” a “muito argiloso” e as demais propriedades físicas analisadas, geram estruturas que possibilitam melhor infiltração. Além da baixa densidade do solo, alta porosidade, além de processos bióticos, como a presença de raízes de variados portes e fauna do solo ativo, dão a este solo características e o distinguem como de boa drenagem.

O processo de infiltração revela que o solo pode absorver elevadas quantidades de água, por longo período antes de saturar, o que por sua vez, inibe ou reduz os processos de escoamento superficial e em lençol, e, conseqüentemente, o processo erosivo.

Outro fator relevante para a taxa de infiltração é a Umidade Gravimétrica do Solo (UmG) que no momento do teste, ela era de aproximadamente 16,88%, influenciando na taxa de infiltração.

Este teste quando comparado com outros, realizados em área com vegetação arbórea na mesma bacia, apresenta valores significativos no que tange à importância da vegetação. Ainda que, os testes tenham sido realizados em solos diferentes, a cobertura vegetal é um diferencial no incremento da capacidade de infiltração do solo e redução do escoamento superficial, além da cobertura vegetal proteger o solo do efeito *splash*. A tabela 16 exemplifica que a UmG menor favorece maiores taxas de infiltração independentemente do tipo de solo e da especificidade da cobertura vegetal.

Tabela 16: Comparação entre dados de infiltração realizada em áreas vegetadas, na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

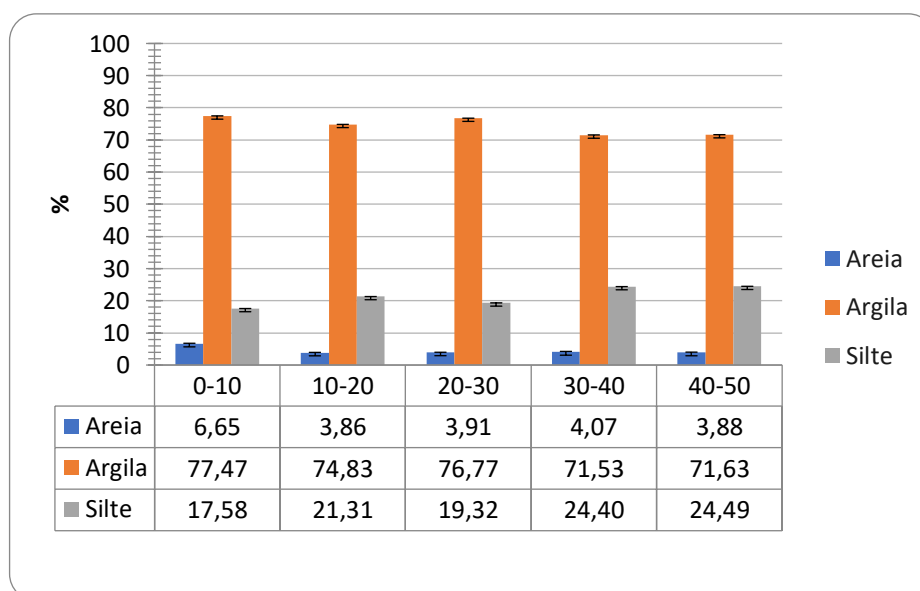
Taxa	Topo de encosta ¹ (Latosolo)	Terço médio ¹ (Argissolo)	Base da encosta ¹ (Neossolo Quartzarênio)	Topo de encosta ² (Latosolo)
Inicial (mm/min.)	2,5	8,7	22	2,9
Final (mm/min.)	1,2	1,36	5,4	1,73
Média (mm/min.)	1,5	2,46	7,43	2,26
Duração do teste (min)	29	29	39	35
UmG (%)	27,32	21,87	11,17	16,87

Teste realizado em: ¹ 02/02/2015; ² 10/03/2018
Org. Armando Brito da Frota Filho, 2020.

5.4.3 Análise do ponto de coleta 2

O ponto 2 teve retirada da cobertura vegetal e do horizonte A, deixando o horizonte B exposto. No que tange às propriedades físicas do solo, este apresenta textura mais argilosa, classificado como muito argiloso (*clay*) como pode ser observado no gráfico 13, com predomínio de mais de 70% de argila em todos os intervalos.

Gráfico 13: Granulometria no ponto 2, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus, - AM



Org. Armando Brito da Frota Filho

Ao se correlacionar os dados das frações mais erodíveis, silte e as areias fina e muito fina (TABELA 17), o perfil apresenta baixa resistência ao processo erosivo, devido a quantidade de silte no horizonte B. O ponto anterior apresentou maior quantidade de silte, areia fina e muito fina, contudo, devido a presença de matéria orgânica como agente cimentante e que reduz o processo erosivo a área anterior, não apresentava erosão aparente.

Segundo Santos *et al.* (2014) e IBGE (2015), a relação silte/argila “serve como base para avaliar o estágio de intemperismo presente em solos de região tropical” e valores inferiores a 0,6 nos solos com textura argilosa ou muito argilosa que indicam intemperismo mais acentuado. No Ponto 2 esta relação varia entre 0,23 e 0,34, que revela o estágio avançado de intemperismo, explicado pelas características do local, ou seja, temperaturas elevadas e precipitação intensa, além, da falta de cobertura vegetal e outras ações humanas.

Tabela 17: Características físicas do solo, ponto 2, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

	Prof. (cm)	Características físicas do solo				
		Silte + Areia (Fina e Muito Fina) (%)	Relação silte/argila	Densidade do solo/aparente (g/cm^3)	Densidade de partículas/real (g/cm^3)	Porosidade Total (%)
Ponto 2	Prof.	18,98	0,23	1,19	2,22	46,54
	10-20	22,90	0,29	1,24	2,30	45,93
	20-30	20,90	0,25	1,19	2,11	43,45
	30-40	26,04	0,34	1,16	2,17	46,76
	40-50	26,08	0,34	1,16	2,13	46,76
	Média	22,98	0,29	1,19	2,22	45,89

Org. Armando Brito da Frota Filho.

Assim, a densidade do solo variou entre 1,16 a 1,24 g/cm^3 , que segundo Kiehl (1979), está dentro dos valores de referências para os solos argilosos ou de textura mais fina. Em comparação com os dados de densidade de solos realizados na mesma área, em pontos com pouca ou nenhuma influência antrópica, 1,03 a 1,11 g/cm^3 (FROTA FILHO, 2016).

O que indica que a ausência de proteção do solo, como cobertura vegetal e a ausência de matéria orgânica tem papel no aumento da densidade, visto que, as frações como areias e silte foram transportados via processo erosivo. Assim, dependendo da atividade humana, a camada superficial do solo pode ser mais impactada.

A porosidade deste ponto variou entre 45,89 a 46,76 %, compatível com o que Kiehl (1979) classifica como solos argilosos que varia entre 40 a 60%. Essa porosidade baixa é resultado direto do baixo teor de matéria orgânica, como pode ser observado na tabela 18. Nesse ponto a matéria orgânica variou entre 0,29 e 0,51%, resultado direto da ausência de vegetação associada a pouca atividade da fauna endopodônica.

Tabela 18: Teor de Carbono e matéria orgânica nas amostras do ponto 2.

	Carbono e Matéria orgânica			
	C (g/Kg)	M.O (g/Kg)	C (%)	M.O (%)
0-10	2,92	5,03	0,29	0,50
10-20	1,50	2,58	0,15	0,26
20-30	1,73	2,99	0,17	0,30
30-40	2,52	4,35	0,25	0,44
40-50	1,66	2,85	0,16	0,29
Média	2,07	3,56	0,20	0,36

Org. Armando Brito da Frota Filho

O teor de matéria orgânica no solo é um fator que ajuda a aferir a qualidade do solo, uma vez que a M.O tende a reduzir valores de densidade real e aumentar a porosidade, assim como aumentar a estabilidade dos agregados do solo, tanto em tamanho quanto em quantidade (KIEHL, 1979; LEPSCH, 2002;2011). Logo a sua ausência ou a baixa quantidade de M.O. faz com que o solo tenha menor porosidade e esteja mais vulnerável ao processo erosivo devido à ausência desse agente aglutinador, características condizentes com o horizonte B.

A figura 19 mostra a resistência à penetração no Ponto 2, com valores mais elevados, que são consequência da maior quantidade de argila. O gráfico da Figura 80 mostra o ponto de maior resistência no intervalo de 15 a 20 cm, que coincide com o aumento da quantidade de argila, de 74,83 para 76,77%, e que apresenta densidade real de 2,11g/cm³e aparente de 1,19 g/cm³.

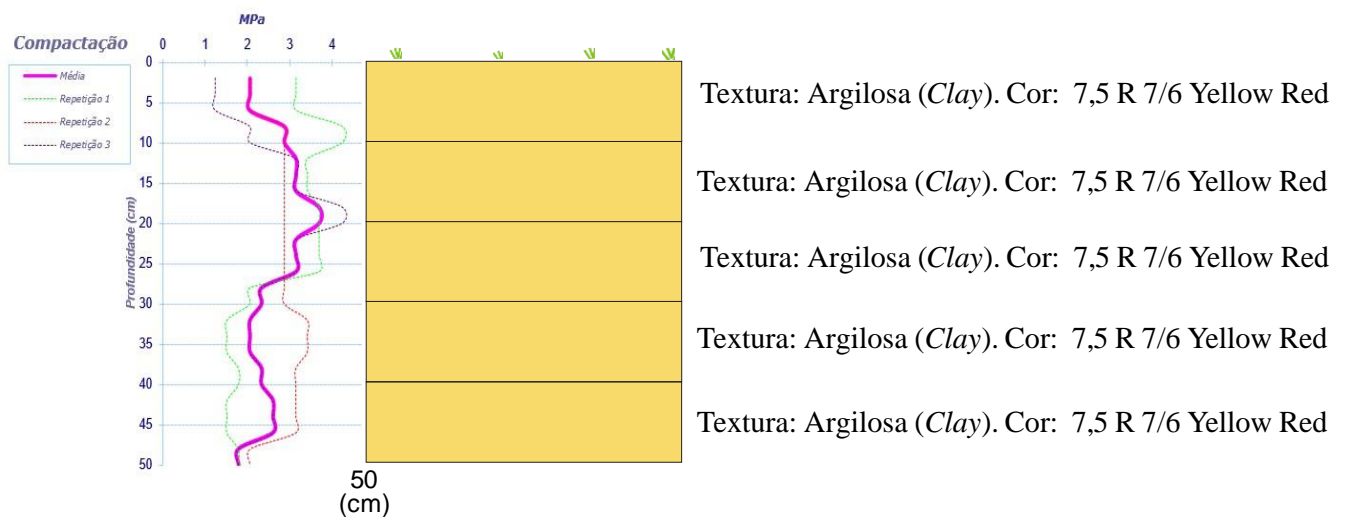


Figura 80: A – Teste de resistência à penetração; B – Ponto 2, topo da encosta, bacia Colônia Antônio Aleixo. Org. Armando B. da Frota Filho.

Portanto, o intervalo de menor resistência, 30 a 35 cm, é referente à redução da quantidade de argila e aumento da quantidade de areia (grossa) e de silte. Assim, há relação direta entre a quantidade de argila com a resistência à penetração, como explica Pereira *et al.* (2002).

No intervalo de 40 a 45 cm há aumento da resistência à penetração, que pode ser atribuída pela maior quantidade de silte e menor quantidade de M.O., comparadas com o intervalo maior. Pois como indica Kiehl (1979) à ausência da matéria orgânica e presença de

grânulos como siltes e areia tendem ao arranjo piramidal, conseqüentemente, menor porosidade e maior compactação.

Em uma análise geral do solo no Ponto 2, a taxa de resistência mínima e máxima, respectivamente, é de 1,87 e 3,60 Mpa (TABELA 19), com média de 2,67 Mpa, que, conforme Canarache (1990), é considerada como baixa quando os valores estão entre 1,1 a 2,5 Mpa, sem limitação para o crescimento de plantas. Já o intervalo de 2,6 a 5,00 Mpa, apresenta alguma limitação para o desenvolvimento de plantas. Logo, nesse ponto, o solo apresenta alguma limitação para o desenvolvimento de espécies vegetais.

A alta resistência de penetração do solo e porosidade baixa faz com que durante uma chuva, a taxa de infiltração seja reduzida. Ao observar o gráfico 14, nos três minutos iniciais, a taxa de infiltração foi acelerada e apresentou um pico no minuto inicial, taxa de infiltração de 26 mm/min. A partir do oitavo minuto, verificou-se uma diminuição da taxa com sua conseqüente estabilização no 27º minuto com taxa de infiltração de 13,5 mm/min.

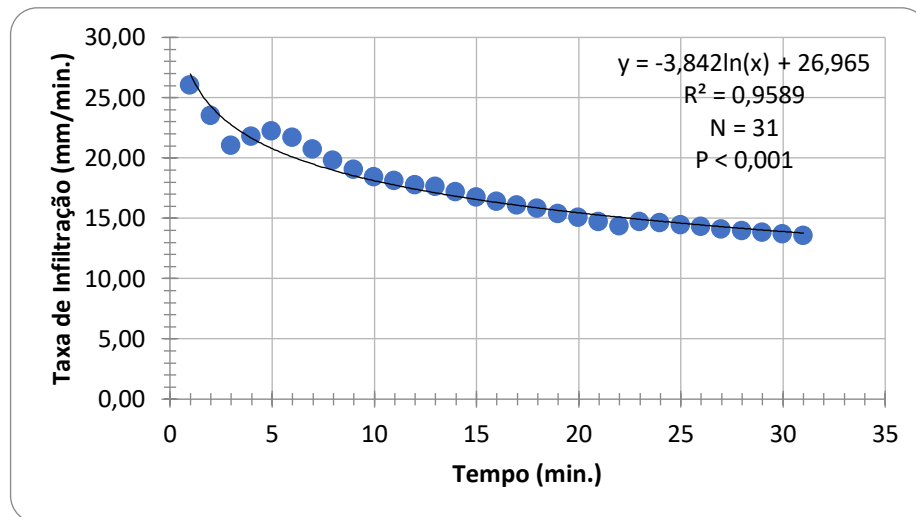
Tabela 19: Valores de resistência a penetração no ponto 2.

Profund. (cm)	MPa			
	T1	T2	T3	Media
0 - 5,0	3,15	2,06	1,24	2,15
5,0 - 10,0	4,24	2,87	2,06	3,06
10,0 - 15,0	3,42	2,87	3,15	3,15
15,0 - 20,0	3,69	2,87	4,24	3,60
20,0 - 25,0	3,69	2,87	3,15	3,24
25,0 - 30,0	2,06	2,87	2,33	2,42
30,0 - 35,0	1,51	3,42	2,06	2,33
35,0 - 40,0	1,78	3,15	2,33	2,42
40,0 - 45,0	1,51	3,15	2,60	2,42
45,0 - 50,0	1,78	2,06	1,78	1,87

T = Tradagem

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Gráfico 14: Teste de Infiltração realizado no Ponto 2 - topo da vertente, com linha de tendência na cor preta.



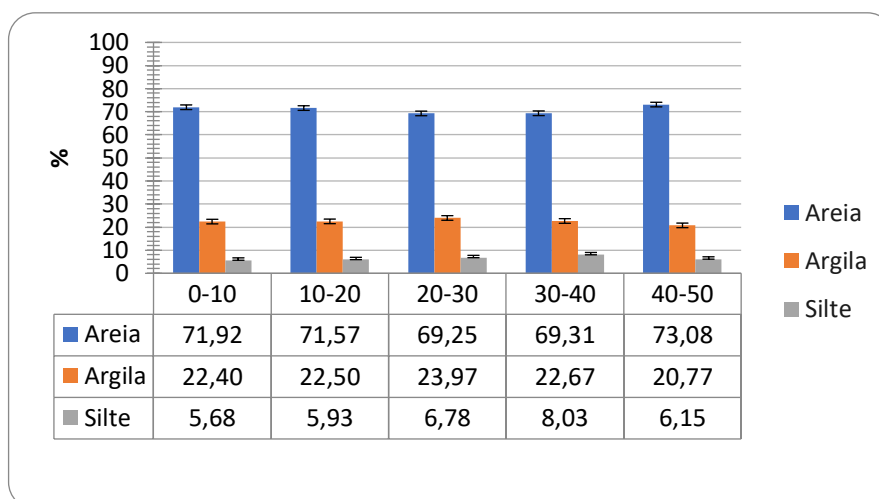
Org. Armando Brito da Frota Filho

O teste durou 31 minutos e apresentou uma média 17,30mm/min., considerando que o solo no ponto 2 apresenta uniformidade textural, sendo muito argiloso e considerando as demais propriedades físicas analisadas, o teste demonstra-se válido e mostra que durante chuvas mais intensas a formação de escoamento superficial é uma realidade, o que vem a propiciar a erosão em lençol ou mesmo feições erosivas menores, como ravinas. A UmG que no momento do teste era de aproximadamente 11,62% pode ter contribuído para a taxa do teste de infiltração, ainda que a textura tenha um papel mais relevante nessa dinâmica.

5.4.4 Análise do ponto de coleta 3

O ponto 3 apresenta características distintas no que concerne ao uso e ocupação e atual estado do solo, visto a retirada completa da cobertura vegetal e dos horizontes A e parte do B pelo processo de terraplanagem e compactação do solo, restando parte do B e o horizonte C exposto, sendo possível encontrar arenito Manaus nas paredes das voçorocas. Quanto às características físicas do solo apresenta textura predominantemente arenosa (GRÁFICO 15), sendo classificado como franco-argilosoarenoso (*sandy clay loam*), apresentando como média de areia 71,03 %.

Gráfico 15: Granulometria do solo no ponto 3, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo.



Org. Armando Brito da Frota Filho.

Ao se fracionar as areias em cinco escalas (muito grossa – 2mm; grossa – 1mm; média – 0,5mm; fina – 0,250; e muito fina – 0,125mm), foi verificado os seguintes valores: 6,86%; 24,20%; 21,90%; 12,64%; e 5,43%, respectivamente (QUADRO 21 – APÊNDICES). As frações mais representativas são a “grossa” e “média” e, conforme Kiehl (1979) e Lepsch (2011) explanam os solos de textura mais grosseira se arranjam, de maneira piramidal, e tem menor espaço vazio. E a ausência de argila coloidal e/ou matéria orgânica, dificulta a presença e formação de agregados, o que reduz a porosidade total.

As frações de mais fácil destaque e transporte, silte e areia (fina e muito fina) (TABELA 07) apresentam médias de 24,59%, o que indica mais susceptibilidade à erosão, em especial, ao se considerar, a baixa presença de agregabilidade do solo e ausência de cobertura vegetal.

No que se refere à relação silte/argila, “valores inferiores a 0,7 nos solos de textura média são indicativos de intemperismo mais acentuado”, e dados próximos a 0,15 apontam alto nível de intemperismo (CELARINO; LADEIRA, 2008). No caso do Ponto 3 variou entre 0,26 e 0,35 (TABELA 20), o que mostra alto nível de intemperismo, o que é explicado pela ação dos agentes intempéricos naturais, como elevadas precipitações e temperatura, intensificados pelas atividades humanas, como a retirada da cobertura vegetal e decapitação de horizontes superiores do solo, o que facilita e intensifica as dinâmicas naturais.

Tabela 20: Características físicas do solo, ponto 3, topo da encosta – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

	Prof. (cm)	Características Físicas					Porosidade Total (%)	
		Silte + Areia (Fina e Muito Fina) (%)	Relação silte/argila	Densidade do solo/aparente (g/cm ³)	Densidade de partículas/real (g/cm ³)			
Ponto 03	0-10	23,51	0,25	1,47	2,13	40,41		
	10-20	24,10	0,26	1,42	2,53	43,84		
	20-30	25,69	0,28	1,40	2,50	43,85		
	30-40	25,28	0,35	1,37	2,56	46,57		
	40-50	24,35	0,30	1,38	2,41	42,81		
	Média	24,59	0,29	1,47	2,13	43,50		

Org. Armando Brito da Frota Filho.

A densidade do solo variou entre 1,37 a 1,47 g/cm³, que segundo Kiehl (1979), está dentro da referência para solos arenosos ou de textura mais grosseira. Em um perfil de mesma textura (franco-argilo arenosa), em local com pouca ou nenhuma influência antrópica foram encontrados valores de 1,19 a 1,24 g/cm³ (FROTA FILHO, 2016). A densidade real, no ponto 2, antropizado variou entre 2,41 a 2,56 g/cm³, enquanto que em um estudo na mesma área, variou entre 2,46 a 2,66 g/cm³ (FROTA FILHO, 2016).

Estas relações mostram que a falta de vegetação, horizonte orgânico e quase que completa ausência de matéria orgânica (TABELA 21), influencia negativamente nas propriedades físicas do solo, potencializando o poder erosivo das chuvas, pois os teores de matéria orgânica são incipientes. Ainda mais, se considerados os valores altos de densidade do solo, que quanto mais elevada, maior a compactação (KIEHL, 1979) e menor a porosidade, pois tem pouca capacidade de estruturação de agregados.

A própria umidade do solo é afetada pela ausência de matéria orgânica, uma vez que, a Umidade Gravimétrica do Solo foi 3,67%, ou seja, menor teor de matéria orgânica e argila fazem com que a água não seja retida no solo, aumentando sua temperatura. E em um segundo momento, pela ausência de água e umidade, em período de chuva rápida e intensa, pode-se criar o efeito tampão, impedindo a infiltração e criando o escoamento hortoniano.

Tabela 21: Teor de carbono e matéria orgânica, nas amostras do ponto 3.

	Carbono e Matéria orgânica			
	C (g/Kg)	M.O (g/Kg)	C (%)	M.O (%)
0-10	0,24	0,41	0,024	0,04
10-20	0,08	0,14	0,008	0,014
20-30	0,16	0,27	0,016	0,03
30-40	0,24	0,41	0,024	0,04
40-50	0,08	0,14	0,008	0,014
Média	0,16	0,27	0,016	0,027

Org. Armando Brito da Frota Filho.

Com base em tudo isso, grande quantidade de grânulos de areias de maior dimensão, menor quantidade de argila (entre 20 e 24%), em especial, se comparada às amostras anteriores (acima de 60 %), além da matéria orgânica incipiente, refletem na pouca plasticidade e pegajosidade, e que, por consequência, resulta na baixa presença de agregados do solo. Como visto na figura 81, a amostra de solo pela baixa presença de agentes cimentantes não desenvolve um cilindro e maior comprimento sem se desfazer.

No que se refere à porosidade, como aponta Kiehl (1979), solos arenosos tendem a ter valores que variam entre 35 a 50%, mostrando que o perfil está dentro deste espectro, com valores entre 40,42 e 46,57% e isso influencia diretamente na resistência do solo à penetração (FIGURA 82).



Figura 81: Resultado do teste de plasticidade na amostra de solo no ponto 03, da bacia Colônia Antônio Aleixo. Cada quadrado equivale a 1 cm.
Fonte: Armando Brito da Frota Filho.

A figura 82 apresenta o gráfico de resistência, cuja taxa foi elevada a ponto de não ser representada e registrada pelo gráfico. Com os valores máximo e mínimo de 5,23 e 9,62 MPa (TABELA 22), a média do perfil foi de 6,78 MPa, que, segundo Canarache (1990), indica um solo com alta resistência (5,1 a 10,0 MPa). Tais características limitam o desenvolvimento de

raízes, estando limítrofe com intervalo de 10,1 a 15,0 MPa, que segundo o referido autor indica impossibilidade de crescimento de raízes. Oliveira Filho *et al.* (2016), associaram a resistência do solo à penetração muito alta a valores acima de 6 MPa com uso de maquinário pesado.

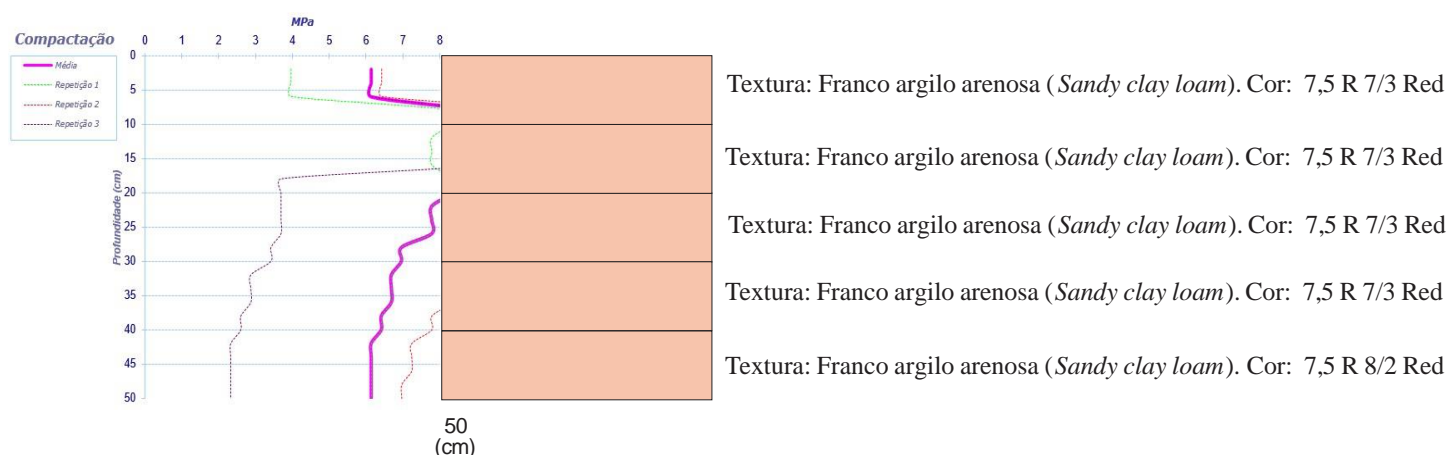


Figura 82: A – Teste de resistência à penetração; B – Ponto 3, topo da encosta, bacia Colônia Antônio Aleixo. Org. Armando B. da Frota Filho.

Tabela 22: Valores de resistência à penetração, no ponto 03.

Intervalo de Profund. (cm)	MPa			
	T1	T2	T3	Média
0 - 5,0	3,96	6,42	6,14	5,51
5,0 - 10,0	8,32	10,77	8,87	9,32
10,0 - 15,0	7,78	11,59	9,14	9,50
15,0 - 20,0	8,32	12,14	3,69	8,05
20,0 - 25,0	7,78	9,41	3,69	6,96
25,0 - 30,0	6,96	9,14	3,42	6,51
30,0 - 35,0	6,69	8,32	2,87	5,96
35,0 - 40,0	6,42	7,78	2,6	5,60
40,0 - 45,0	6,14	7,23	2,33	5,23
45,0 - 50,0	6,14	6,96	2,33	5,14

T = Tradagem

Org: Armando Brito da Frota Filho.

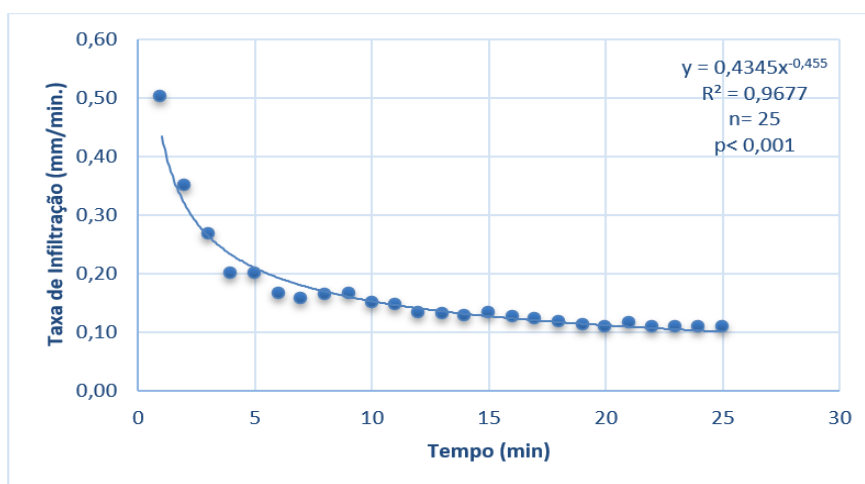
Essa taxa de resistência à penetração associada à baixa porosidade do solo resulta em uma taxa de infiltração reduzida, quase ínfima, ainda mais, ao se considerar o fato de que esse ponto apresenta diversas crostas de alteração, que segundo Guerra e Guerra (2010), é definida como uma camada de espessura variável, que nas regiões tropicais úmidas, desenvolve uma cor alaranjada ou avermelhada, devido às argilas lateríticas. Estas crostas na superfície do solo impedem a infiltração e facilitam o escoamento superficial.

O teste de infiltração foi realizado no mesmo local por Leitão e Vieira (2014), em solo sem vegetação e com encrostamento na borda da voçoroca localizada na área, onde é possível observar a discrepância entre as taxas de infiltração obtidas nos demais pontos, em áreas com vegetação e mesmo áreas com intervenção antrópica.

O teste de infiltração (GRÁFICO 16), também foi realizado em área degradada, na qual o solo foi terraplanado, compactado e com presença de crostas de alteração e com uma feição erosiva do tipo voçoroca nas adjacências. Apresentou uma taxa inicial de 0,05 mm/min. e se estabilizou a partir do 14º minuto com taxa de 0,01 mm/min. O teste teve duração de 20 minutos, apresentando taxa média de 0,02 mm/min. que é uma taxa muito baixa, porém, condizente com as características físicas da área, tais como a ausência da cobertura vegetal e dos horizontes superiores do solo (horizontes O, A e parte do B), alto nível de compactação e presença de crostas ferruginosas (FROTA FILHO, 2016).

Ao se comparar usos de solo distintos em áreas diferentes na bacia, como áreas com cobertura vegetal; de solo exposto; que passaram por terraplanagem, compactação do solo e que apresentem crostas ferruginosas, é possível observar as grandes diferenças entre eles, na dinâmica de infiltração.

Gráfico 16: Teste de Infiltração realizado em área degradada, no bairro Distrito Industrial II – bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.



Fonte: Fonte: Leitão (2014).

Na tabela 23, observa-se como a taxa de infiltração é menor em solos com maior resistência à penetração e que o tempo para a estabilidade, ou seja, saturação do solo e início do escoamento superficial (*runoff*) é menor. Contudo, a presença de crostas de alteração, com espessura entre 2 a 3 mm, dificulta o processo de infiltração por ser uma capa impermeabilizante, em parte da cobertura pedológica. Além disso, porosidade (que variou entre 40 e 46%) e alto nível de resistência a penetração.

Tabela 23: Comparação entre dados de infiltração realizados, na bacia Colônia Antônio Aleixo

	Área com solo exposto, compactação e presença de crostas de alteração ^{1 4} (Latossolo)	Área com solo exposto ¹ (Latossolo)	Área com solo exposto ^{2 5} (Latossolo)	Área vegetada ^{3 6} (Latossolo)
Taxa Inicial (mm/min.)	0,05	0,5	2,6	2,9
Taxa Final (mm/min.)	0,01	0,11	1,35	1,73
Taxa Média (mm/min.)	0,02	0,17	1,73	2,26
Duração do teste (min)	20	25	31	35

Teste realizado em: ¹14/05/14; ²08/02/2018; ³10/03/2018

Pontos: ⁴ponto 3; ⁵ponto 2; ⁶ponto 1

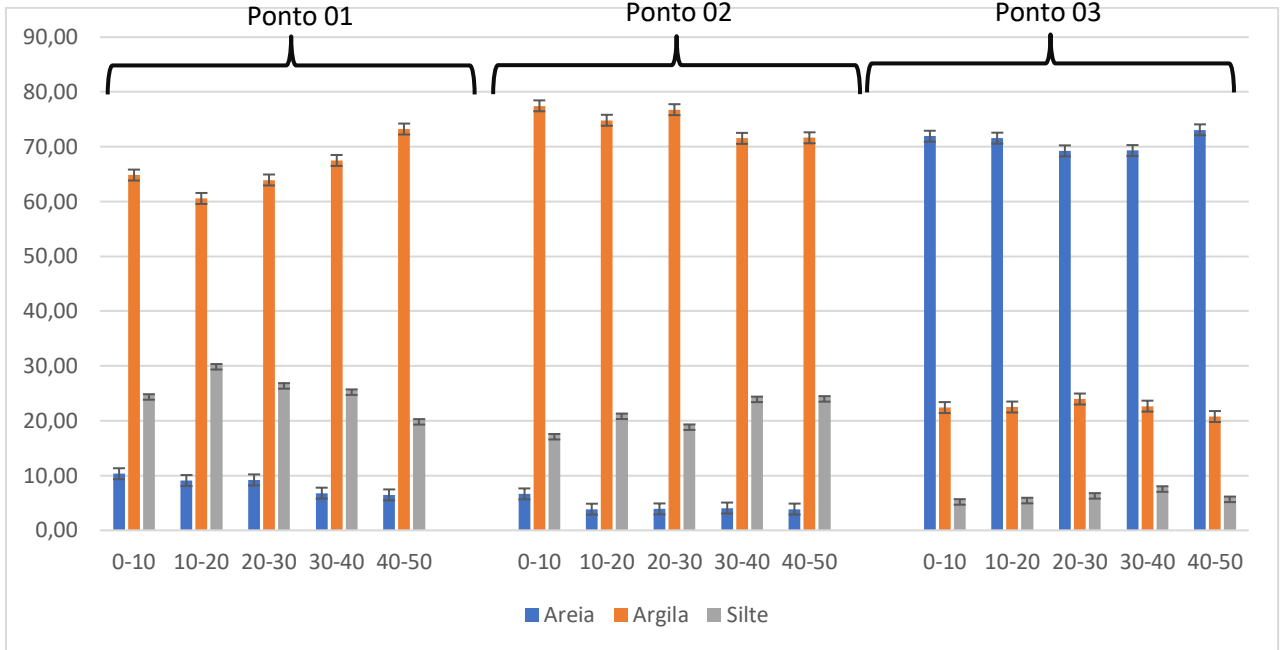
Org. Armando Brito da Frota Filho.

5.4.5 Análise integrada dos pontos de coleta

Os pontos 1 e 2, respectivamente, coletados nos horizontes A e B, possivelmente, têm quantidade maior de argila (vide gráfico 77 e figura 83), o que por sua vez, ajuda no melhoramento das propriedades do solo, frente ao processo erosivo que é representado nos dados de estabilidade de agregados (TABELA 03 e QUADRO 08) que são superiores, nas amostras do ponto 1, pela quantidade de argila associada à matéria orgânica, seguida do ponto 2, pela quantidade de argila maior que 60% e no ponto 03, com poucos agregados e instáveis, devido à abundância de areia e menor teor orgânico.

Considerando-se a posição destes pontos na encosta, sendo coletados no topo ou no terço superior e que nessa posição os solos normalmente encontrados são os Latossolos (LUCAS, 1989; FROTA FILHO, 2016), como dito anteriormente, no ponto 1, foi coletado no horizonte A, no ponto 2 o horizonte B, enquanto no ponto 3 o horizonte Bc e parte do C pouco silte e mais de 20% de argila (GRÁFICO 7) e coloração vermelha devido ao material de origem, conhecido como arenito Manaus, que tem cor vermelho claro a tons de rosa.

Gráfico 17: Granulometria nos pontos 1, 2 e 3.



Org: Armando Brito da Frota Filho.

Os pontos 1 e 2 apresentam porcentagens de argila acima de 60%. O ponto 03 representa um Latossolo decapitado, visto que partes dos horizontes foram retirados, deixando uma camada com predomínio de areia (QUADRO 09), a figura 83 apresenta a distribuição granulométrica dos pontos na pirâmide textural.

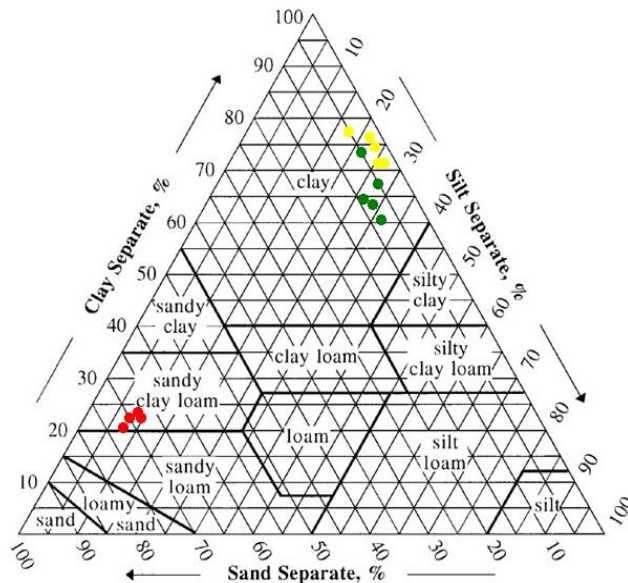


Figura 83: Triângulo textural da EMBRAPA/IBGE U.S.D.A com os pontos de amostragem, em verde ponto 01 (Clay/ Argila); em amarelo se referem ao ponto 02 (clay/Argila); e em vermelhos ao ponto 03 (Sandy clayloam/Argila arenosa). Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Além da decapitação dos horizontes do solo realizada pelo processo de terraplanagem, a ausência de vegetação propiciou a formação das crostas de alteração lateríticas e a

intensificação do processo erosivo e a conseqüente remoção de partículas mais finas como silte, argila e de areia muito fina de tamanho inferior a 0,125 mm (QUADRO 21 - APÊNDICE), permanecendo frações texturais de maior proporção.

No contexto do estudo dos solos e processos erosivos é necessário que estes atributos sejam analisados, pois as partículas mais finas como silte e areias fina e muito fina tendem a ser destacadas e transportadas com mais facilidade, enquanto que, a argila com seu potencial de agregar apresenta resistência (FULLEN; CATT, 2004; LEPSCH, 2011; GUERRA, 2016).

Sendo assim, as estruturas dos agregados e seus parâmetros de análise são: o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP), o índice de estabilidade de agregados (IEA). Tais estruturas são influenciadas pela argila, matéria orgânica e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio no solo, pois são ditos como agentes cimentantes (KIEHL, 1979; CASTRO FILHO *et al.*, 1998), além de processos biológicos, como efeito das raízes, no aumento da porosidade e no fornecimento de matéria orgânica ao solo, atividade microbiana, que produz substâncias responsáveis pela formação e estabilização dos agregados do solo (DIMARCHI *et al.*, 2011) e ações advindas da fauna endopedônica.

O ponto 01 apresenta DMP de 2,56 e 2,01mm e IEA de 93,35 e 88,43%, nos intervalos de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm, respectivamente, isso é resultado da quantidade de matéria orgânica variando de 7,16 a 6,97%, associada à quantidade de argila no solo que nesses intervalos é superior a 60%.

Essas duas características juntas, além de refletirem agregados com estabilidade de maior dimensão superiores a 2mm, que representam 78,68 e 55,04% nas profundidades de 0 a 10cm, e de 10 a 20 cm, respectivamente (TABELA 24). Além disso, estes atributos dos agregados permitem dizer que o solo é mais poroso e com maior potencial de resistência à erosão, pois há grande quantidade de agregados com resistência ao destacamento pelo efeito *splash* e escoamento superficial.

Tabela 24: Síntese dos atributos do *topsoil*, nos Pontos 1, 2 e 3.

Loc.	Horiz.	Prof (cm)	Estrutura dos agregados				Matéria orgânica nos agregados (%)			Granulometria do solo (%)		
			DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)	Agreg. > 2mm (%)	Macro	Micro	Total	Argila	Areia	Silte
P1	A	0 - 10	2,56	2,19	93,34	78,68	3,29	3,87	7,16	64,83	10,33	24,83
		10 - 20	2,01	1,63	88,43	55,04	3,22	3,76	6,97	60,57	9,09	30,35
		Média	2,33	1,91	90,88	66,86	3,25	3,81	7,07	62,70	9,71	27,59
P2	B	0 - 10	1,18	0,85	72,32	15,40	0,49	0,46	0,94	77,47	6,65	17,58
		10 - 20	0,83	0,60	60,50	6,03	0,44	0,52	0,96	74,83	3,86	21,31
		Média	1,01	0,72	66,41	10,72	0,46	0,49	0,95	76,15	5,26	19,45
P3	C	0 - 10	2,07	1,55	85,05	54,88	0,35	0,30	0,65	22,40	71,92	5,68
		10 - 20	1,65	1,01	69,40	41,32	0,06	0,03	0,09	22,50	71,57	5,93
		Média	1,86	1,28	77,23	48,10	0,21	0,16	0,37	22,45	71,75	5,80

Org: Armando Brito da Frota Filho.

No ponto 2, a quantidade de matéria orgânica nos agregados é próxima a 1%, o que explica a baixa de macro agregados, DMP 1,18 e 0,83mm, e que estes agregados são de menor tamanho, pois o DMG é de 0,85 e 0,60 mm e a quantidade de agregados superior a 2 mm é de 15,4 e 6,03% respectivamente, para as camadas 0-10 e 10-20cm. Assim, o que se encontra, no ponto 2, são poucos agregados grandes, sendo a maior parte deles abaixo de 2 mm. Contudo Chauvel (1981) indica presença de micro agregados nos latossolos de Manaus, no horizonte AB.

Quanto ao ponto 3, em ambos os intervalos a M.O. se configurou abaixo de 1% e a quantidade da argila que está entre 22,4 a 22,5%, esta última justificaria a formação de agregados (FIGURA 84), como os que foram encontrados no ponto com valores de DMP são de 2,07 e 1,65mm e IEA de 85,05 e 69,4%. Todavia, é necessário salientar que as porcentagens de areia das frações muito grande (2mm) e grande (1mm), nos intervalos de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm apresentam valores de 7,62 e 24,78%, e 6,85 e 24,67%, respectivamente (QUADRO 21 - APÊNDICE), o que poderia camuflar parte dos resultados de agregados do *topsoil* neste ponto, pois Kihel (1979) indica que solos com essa característica apresentam menor capacidade de estruturação.

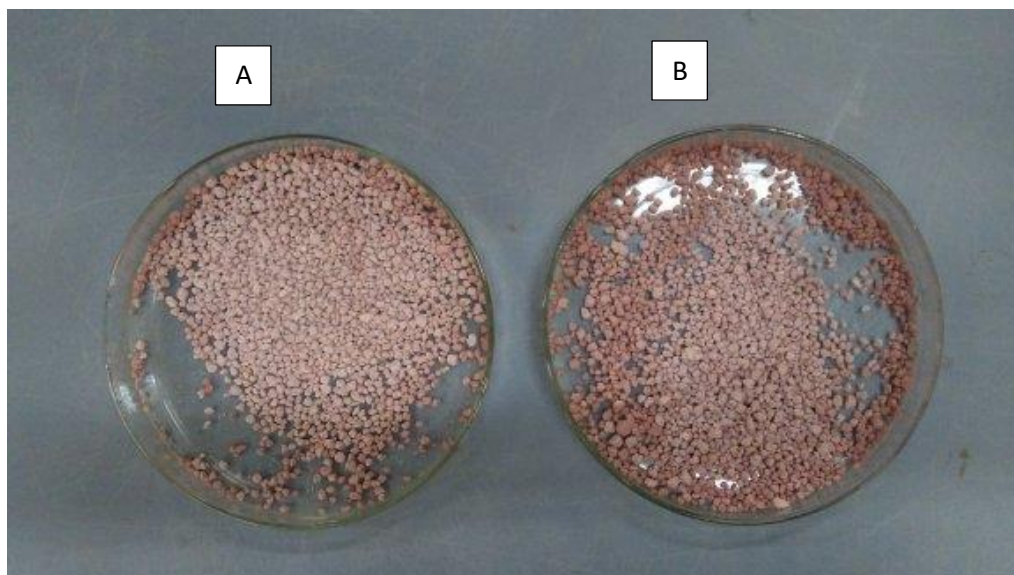


Figura 84: Agregados do *topsoil* do ponto 3 A: profundidade de 0 a 10cm. B: Profundidade de 10 a 20cm
Foto: Armando Brito da Frita Filho.

Com base nesses dados, a estabilidade de agregados encontrada nesse ponto pode englobar as frações de areia de maior dimensão (acima de 1mm). Isso é corroborado pelos valores de DMG que variam entre 1,55 e 1,01 mm (TABELA 24), apontando que a média dos tamanhos dos agregados encontrados se encaixa no intervalo de areias grandes, o que pode ter superestimado a quantidade real de agregados do solo. Além disso, em campo e em laboratório, observou-se que o material se apresentava com pouca coesão, desfazendo-se com facilidade. Contudo, reitera-se que há agregados no solo, visto a presença de argila como agente cimentante e aglutinador.

Estas características possibilitam dizer, que este solo tem características naturais que apontam para maior coesão, além do processo antrópico de compactação do solo que há na área. Além de apresentar porcentagem de 23,51 e 24,1 de silte mais areia fina e muito fina (QUADRO 09), gerando alto potencial erodível, seja pelo efeito *splash* como por escoamento superficial.

Considerando os três pontos analisados, as camadas de 0 a 10 cm apresentaram valores para DMP, DMG e IEA superiores aos do intervalo de 10 a 20 cm, pois nestas últimas camadas há redução da argila nos pontos 1 e 2 e de matéria orgânica em todos.

Além disso, o uso do solo também foi determinante para melhores índices de agregabilidade, visto que no ponto com vegetação, ocorreu maior quantidade de M.O., reflexo da bioturbação, assim mais aerado, diferente do que houve nos pontos 02 e 03, ambos sem vegetação e o último com intenso processo de compactação do solo devido à ação humana.

Nesse sentido, Castro Filho *et al.* (1998) observaram relação direta entre as classes de agregados > 2,0 mm e o teor de Matéria Orgânica, e em seu estudo o crescimento de agregados

maiores, superiores a 2,0mm, foi de aproximadamente oito vezes mais que as classes inferiores a 2 mm. Essa relação se apresentou ao se comparar os dados dos pontos 1, 2 e 3, em especial, o primeiro que apresenta os maiores índices de M.O, visto que a média de agregados > 2,00mm do ponto 1 foi de 66,86% e a do ponto 2 foi 10,72%, sendo que o primeiro apresenta, majoritariamente, agregados acima de 2mm.

Em termos de comparação, o ponto 01 apresentou média IEA de 90,88%, e ao se comparar com trabalhos com coletas realizadas, em ambientes de Latossolo com vegetação primária ou secundária, como em trabalhos de Madari (2004), com IEA 100%, Demarchi *et al.* (2011), com 88,44% e Fachin *et al.* (2019), de 71,5%, é possível dizer que o solo do ponto 1 apresenta valores de estabilidades elevados, não apenas comparando com os demais pontos, como com outros locais de características semelhantes, tal como uso e ocupação do solo.

Ainda comparando atributos de mesmo ambiente, os valores de DMG, em Latossolo com vegetação. No estudo de Madari (2004) foi de 1,3mm e no trabalho de Fachin *et al.* (2019) o DMP foi de 2,1mm. No ponto 1, as médias de DMP foi de 2,33mm e DMG de 1,91mm, novamente estes índices estão relacionados aos altos índices de M.O.

Demarchi *et al.* (2011) também realizaram estudos de agregabilidade com amostragem realizada em um corte de um terreno baldio, na qual o valor de IEA foi de 45,32%. Em comparação com o Ponto 2, que apresentou valor de 66,41%, que pode ter relação com o teor de argila encontrado nessa camada pedológica (72,15%).

Castro Filho *et al.* (1998) apontam o teor de matéria orgânica como não sendo o agente determinante na estabilidade e na dinâmica de agregados, ou seja, faz-se necessário entender os demais atributos do solo, como granulometria, estrutura, porosidades, densidades e o contexto de uso e ocupação do solo, pois a agregabilidade do solo não pode ser individualizada a um fator

No que concerne ao pH, na tabela 25, foram analisados em H₂O e em KCl, os valores no ponto 1 foram os mais baixos, ou seja, mais ácidos, o que é explicado pela quantidade de matéria orgânica (KIHHEL, 1979; LEPSCH, 2011), uma vez que se tratam de uma mesma classe de solos (Latosolo) advinda do mesmo material de origem, o arenito Manaus.

Tabela 25: Valores de pH do solo, nos pontos coletados.

Ponto	Horiz.	Prof. (cm)	pH		
			H ₂ O	KCl	Δ pH
01	A	0-10	4,63	4,04	-0,59
		10-20	4,44	4,06	-0,38
		20-30	4,65	4,10	-0,55
		30-40	4,43	4,16	-0,27
		40-50	4,42	4,15	-0,27
		Média	4,51	4,10	-0,41
02	B	0-10	5,29	4,43	-0,86
		10-20	5,12	4,32	-0,69
		20-30	4,90	4,33	-0,58
		30-40	5,16	4,33	-0,83
		40-50	5,28	4,37	-0,91
		Média	5,15	4,36	-0,77
03	C	0-10	5,34	4,42	-0,92
		10-20	5,26	4,41	-0,85
		20-30	5,21	4,46	-0,75
		30-40	5,21	4,43	-0,78
		40-50	5,30	4,45	-0,85
		Média	5,26	4,43	-0,83

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Uma relação importante a ser destacada é o Δ pH, que serve para avaliação de CTC do solo, além de indicador de fertilidade. Quando este parâmetro apresenta valor negativo indica a presença de argilas silicatadas (KIEHL, 1979), algo recorrente em todas as amostras. Esse parâmetro, quando negativo em ambiente sem cobertura vegetal e, associado ao impacto direto da gota de chuva no solo, o *splash*, facilita a formação de crosta de alteração laterítica do solo, e conseqüentemente, o escoamento superficial. Isso é ainda mais intenso quando associado a processos de desmatamento, em grandes áreas e/ou terraplanagem, fazendo com que o aparecimento de feições erosivas seja inevitável, como ocorre no ponto 02 e 03 (FIGURA 85).

Outro ponto importante é o Al^{3+} que é tóxico as plantas, no caso de um desmatamento. Se a quantidade desse atributo for elevada, a possibilidade de recuperação natural é baixa. Isso se mostra preocupante face aos valores encontrados no ponto 3, que são os maiores dentre os avaliados.



Figura 85: Solo com presença de crostas de alteração pela presença de argilas lateríticas ponto 3, terreno alterado com solo exposto sem ocupação humana, bairro Distrito Industrial II, bacia Colônia Antônio Aleixo. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Ademais, ao se observar a tabela 05, os valores do pH são maiores nos pontos 2 e 3, em especial, se considerar que podem corresponder à uma situação natural, para horizontes posicionados em maior profundidade num perfil de solo. Além disso, o Al^{3+} além de tóxico tem baixa mobilidade, ou seja, diferentemente dos macros e micronutrientes, esse alumínio não é lixiviado com facilidade. Dessa forma, mesmo havendo escoamento (superficial e subsuperficial) intenso com lixiviamento e mesmo processos erosivos, o Al^{+} permanece, o que ajudaria a explicar o porquê desse valor ser maior, nos pontos 02 e 03.

No que concerne aos usos do solo e o processo de infiltração e escoamento da água, é importante comparar como tais usos influenciam na compactação e resistência à penetração do solo, isso via testes de resistência à penetração, nos três pontos estudados. A tabela 26 apresenta estes dados, que mostra a crescente das taxas de resistência do ponto 01 ao ponto 03.

O solo apresenta maior resistência à penetração com a profundidade, sendo esta característica de solos com alto teor de argila (PEREIRA *et al.*, 2002). Nesse sentido, ao se considerar que a camada de solo analisada, no ponto 2, deve corresponder ao horizonte B, pode-se entender que as altas taxas de resistência à penetração estão de acordo com a resistência natural que se encontrariam no horizonte subsuperficial mineral do solo.

Tabela 26: Valores de resistência à penetração, nos pontos 01, 02 e 03.

Profund. (cm)	MPa		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
	Hz A	Hz B	Hz C
0 - 5,0	0,78	2,15	5,51
5,0 - 10,0	0,78	3,06	9,32
10,0 - 15,0	1,24	3,15	9,50
15,0 - 20,0	1,91	3,60	8,05
20,0 - 25,0	2,06	3,24	6,96
25,0 - 30,0	2,06	2,42	6,51
30,0 - 35,0	2,15	2,33	5,96
35,0 - 40,0	2,15	2,42	5,60
40,0 - 45,0	2,33	2,42	5,23
45,0 - 50,0	2,42	1,87	5,14

Org. Armando Brito da Frota Filho.

Quanto ao ponto 3, a mesma análise não pode ser aplicada, pois além do processo de retirada de solo há o processo evidenciado pelos elevados índices de resistência e pela ausência de plantas, mesmo rasteiras ou invasoras. Segundo Canarache (1990), indica um solo com alta resistência (5,1 a 10,0 MPa) com limitações ao desenvolvimento de raízes.

A resistência à penetração interfere diretamente no processo de infiltração, visto que, quanto maior a resistência, menor será a taxa de infiltração, e conseqüentemente mais rápido se dá o processo e escoamento superficial concentrado e/ou em lençol. O que também intensifica a perda de nutrientes pela lixiviação.

A Tabela 27 contém os parâmetros químicos avaliados. O ponto 1 apresenta os valores mais altos de nitrogênio, fósforo e potássio o que está diretamente associado à cobertura vegetal e a serrapilheira que, além de proverem nutrientes ao solo, impedem ou reduzem a lixiviação.

O ponto 2 apresenta uma quantidade de nutrientes inferior ao ponto 1, o que está associado à ausência de cobertura vegetal. Enquanto, o ponto 3 apresenta os dados com menores valores de macro e micronutrientes, notório pela ausência de nutrientes por ser a camada mais próxima à rocha matriz, como o Arenito Manaus, além de apresentar elevadas taxas de resistência à penetração, o que favorece o processo de lixiviação forte, por meio de escoamentos.

Tabela 27: Parâmetros químicos avaliados, nos pontos 1,2 e 3, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

Ponto	Horiz.	Prof. (cm)	Macronutriente					Micronutriente			PO4
			N	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe	Zn	Mn	
			g/Kg	mg/Kg				mg/Kg			
01	A	0-10	2,04	9,99	10,80	12,49	33,88	133,2	0,97	5,24	30,62
		10-20	1,59	6,02	7,40	7,30	22,09	107,2	0,91	2,95	18,47
		20-30	1,34	5,56	9,20	10,40	24,70	147,3	0,96	2,71	17,05
		30-40	0,84	1,26	5,20	4,10	7,10	70,7	0,67	1,00	3,88
		40-50	0,82	1,00	5,00	4,10	7,90	53,3	0,62	0,77	3,06
		Média	1,32	4,77	7,52	7,68	19,13	102,35	0,83	2,53	14,62
02	B	0-10	0,48	0,53	14,09	3,70	6,50	16,9	1,98	0,38	1,63
		10-20	0,38	0,37	4,70	2,10	2,70	10,3	0,31	0,25	1,12
		20-30	0,35	0,23	4,20	2,20	3,70	9,2	0,44	0,22	0,71
		30-40	0,41	0,33	3,60	2,60	5,50	11,3	0,27	0,22	1,02
		40-50	0,31	0,33	2,60	1,80	1,80	9,1	0,44	0,13	1,02
		Média	0,39	0,36	5,84	2,48	4,04	11,36	0,69	0,24	1,10
03	C	0-10	0,09	0,50	3,30	1,30	6,90	13,7	0,24	0,20	1,53
		10-20	0,08	0,40	1,90	1,20	2,00	17,4	0,45	0,12	1,22
		20-30	0,08	0,33	1,80	1,30	2,90	20,2	0,18	0,30	1,02
		30-40	0,09	0,23	1,90	1,20	2,80	32,4	0,76	0,36	0,71
		40-50	0,10	0,37	2,00	1,30	3,60	39,8	0,22	0,37	1,12
		Média	0,09	0,37	2,18	1,26	3,64	24,69	0,37	0,27	1,12

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

No ponto 3, além dos parâmetros físicos do solo dificultarem o desenvolvimento das (raízes das) plantas, o depauperamento deste dificulta o desenvolvimento de espécies vegetais no solo, pois os principais elementos como N, P e K têm médias de 0,9 g/kg, 0,37 mg/Kg e 3,63 mg/Kg, respectivamente, média abaixo dos demais pontos. Isso por sua vez intensifica cada vez mais o processo erosivo, devido à falta de cobertura vegetal, e consequente, a inserção de matéria orgânica. O único elemento em abundância nesse ponto é o Fe, que está associado aos óxidos de ferro do arenito Manaus.

5.5 Mensurar os impactos ambientais relacionados às voçorocas

Na bacia Colônia Antônio Aleixo, as voçorocas são as feições erosivas mais recorrentes, sendo um resultado direto das alterações das dinâmicas naturais pelo processo de ocupação do terreno e apropriação do relevo. Estas feições, tanto são causadoras de impactos, tais como, assoreamento de canais, como também, são utilizadas como local de deposição de resíduos sólidos, como bota-fora (lixões) e até mesmo resíduos industriais e de construção.

Neste capítulo, aborda-se os assoreamentos de canais, como os depósitos tecnogênicos que se formaram no interior das voçorocas, considerando os impactos no solo e no processo erosivo já em ação. O mesmo se justifica, pelo fato, de ainda, existirem poucos trabalhos que abordem essa temática, sendo, portanto, de grande importância, em especial, em um país, onde as transformações de relevo (antropogênico) ocorrem de forma desordenada, causando impactos *onsite* e *offsite* (GUERRA *et al.*, 2017).

5.5.1 Assoreamento de canais

A quantidade de incisões na bacia gera grande volume de sedimentos e dependendo do tipo de voçoroca, segundo o modelo de Oliveira (1989), o impacto desse material pode variar. Quando estas incisões são do tipo desconectada, o material erodido deposicional fica no sopé da encosta, assim, criando o que Guerra e Guerra (2004) denominam de cones de dejeção, logo, essa tipologia de incisão é a que menos impacta os canais fluviais.

As voçorocas dos tipos conectadas e integradas à rede de drenagem impactam diretamente os canais, tanto que o assoreamento dos canais na bacia Colônia Antônio Aleixo é uma situação recorrente. Com a finalidade de quantificar o quanto de sedimentos foram carreados por quatro voçorocas monitoradas, foram utilizados os volumes delas e por meio da densidade média do solo, no qual se desenvolveram, foi possível calcular em toneladas o volume erodido de cada incisão (TABELA 28). Para complementar esse cálculo, utilizou-se a densidade do solo, pois, conceitualmente, esta engloba as três fases do solo (sólida, líquida e gasosa), como explana Lespch (2002).

Portanto, os impactos são maiores em voçorocas dos tipos: conectada e integrada, pois, estão ligadas diretamente a rede de drenagem, e por consequência, o impacto dos sedimentos é direto, sem possibilidade de ficarem depositados ou retidos em média encosta ou sopé. Em estudos sobre erosão e assoreamentos de canais, Abdon (2004) Camargo (2012) e Mugade e

Sapkale (2015), indicam que o assoreamento ocorre quando a taxa de deposição de sedimentos é superior à taxa de vazão e transporte do canal.

Tabela 28: Dados de volume e toneladas erodidas pelas voçorocas

	Densidade do solo (g/cm ³)	Volume máximo erodido (m ³)	Tonelada (t)
Voçoroca 01*	1,41	39.596,77	55.791,84
Voçoroca 02**	1,41	50.084,06	70.568,44
Voçoroca 03**	1,19	108.322,39	128.578,67
Voçoroca 04**	1,19	49.833,64	59.152,53
Total	-	247.836,93	185.512,8

* Ano de referência: 2020; ** Ano de referência: 2017.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

O processo de deposição e assoreamento pode levar às mudanças dos canais e das relações entre os fluxos superficiais e subsuperficiais com consequente crescimento da superfície erosiva (GOLOSOV, 2002; THAKUR, 2019).

A figura 86 apresenta as voçorocas 01 e 02, na segunda há destaque para o acúmulo de sedimentos no canal já totalmente assoreado e do canal conectado à incisão 01 há a presença de vegetação.

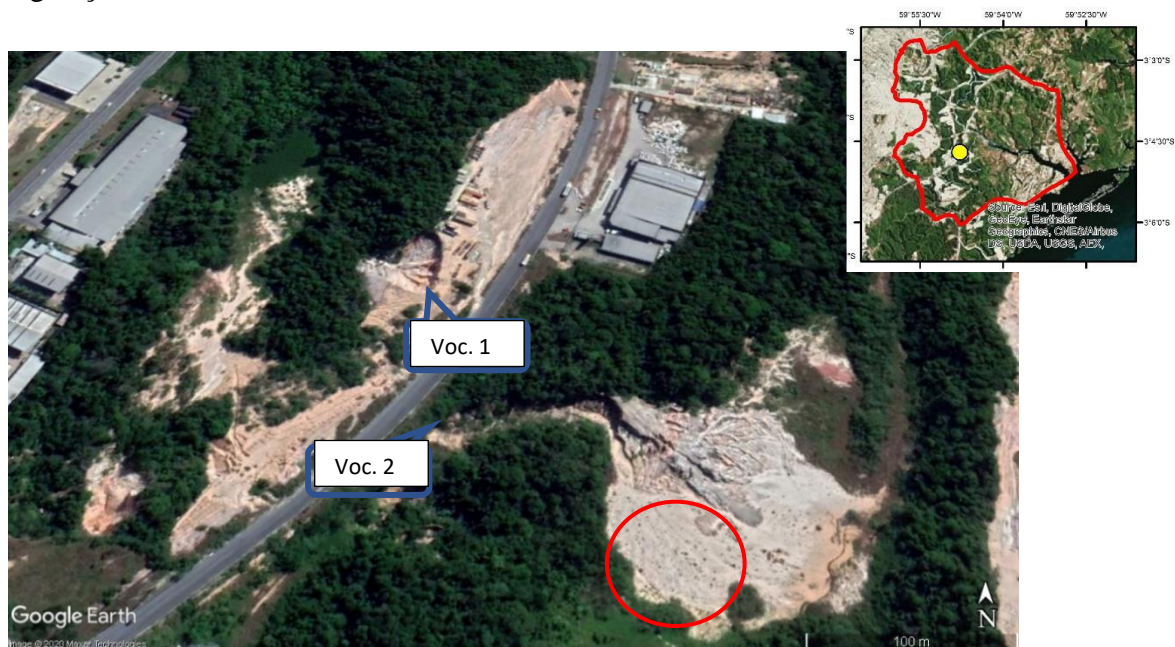


Figura 86: Imagem do Google Earth das voçorocas 01 e 02, destaque para o leque sedimentar na voçoroca 02, a direita da pista. Fonte: Imagem Google Earth, 2020. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Na figura 87 há a mesma dinâmica, com a apresentação das incisões 03 e 04 e seus sedimentos localizados, no que seria o canal, que já está descaracterizado com a presença da

vegetação. Neste ponto, havia a presença de quatro voçorocas, sendo que duas delas se uniram dando origem à incisão 04 e uma foi descaracterizada e se tornou um depósito tecnogênico.



Figura 87: Imagem do Google Earth das voçorocas 03 e 04, em tracejado vermelho área da voçoroca que foi descaracterizada. Fonte: Imagem Google Earth, 2020. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

Antes de perder as suas características por intervenções e processo de deposição antrópica, está era uma das maiores voçorocas da bacia Colônia Antônio Aleixo e em seu último monitoramento, em 2015, apresentou volume erodido de $110\,000\text{ m}^3$ (FROTA FLHO, 2016), o que gerou aproximadamente 130 900 toneladas de material erodido. Contudo, o espaço vazio dos sedimentos foi preenchido por diversos materiais tecnogênicos e que também sofrem processo erosivo e são carregados para áreas mais baixas, onde era o canal.

5.5.2 Depósitos tecnogênicos

O processo de expansão urbana causa diversas alterações nas dinâmicas naturais e impactos ao meio físico, o mais recorrente é a presença de voçorocas na bacia Colônia Antônio Aleixo, ainda, concomitantemente ocorre nestas incisões a deposição tecnogênica. Ou seja, as voçorocas são utilizadas como locais para depósitos de resíduos sólidos domésticos, industriais, restos de construções, entre outros.

Nesse sentido, é importante conceituar os depósitos tecnogênicos, que segundo Peloggia (2017), são “formações superficiais criadas por processos de acumulação diretamente realizados ou induzidos pela agência humana” e “que se depositaram ou depositam sob o regime

geológico exógeno atual, marcado pela influência humana, sendo pré-tecnógenas as formações que não se explicam por ele” (PELOGGIA, 2003).

A caracterização quanto ao seu material constituinte, apresenta quatro grupos, conforme classificação de Peloggia (1998):

- Materiais “úrbicos” (do inglês *urbic*) – caracterizados por detritos urbanos, materiais terrosos que contêm artefatos manufaturados pelo homem como fragmentos tijolos, vidro, concreto, asfalto, pregos, plástico, metais diversos dentre outros;
- Materiais “gárbicos” (do inglês *garbage*) – são depósitos de materiais como resíduos orgânicos, que podem conter materiais “úrbicos” em menor escala;
- Materiais “espólicos” (do inglês *spoil*) – materiais escavados e redepositados por operações de terraplanagem em minas a céu aberto, rodovias ou outras obras civis, identificados pela expressão geomórfica “não natural”, ou ainda por peculiaridades texturais e estruturais em seu perfil, e;
- Materiais “dragados” – materiais terrosos provenientes da dragagem de cursos d’água e comumente depositados em diques em cotas topográficas superiores às da planície aluvial. (PELOGGIA, 1998)

Os quatros tipos de depósitos ocorrem na bacia, a exemplo disso há Depósitos Tecnogênicos *Espólicos* e/ou Dragados para o nivelamento do terreno via aterros, que se distinguem do solo original da área por se apresentarem inconsolidados e contrastarem com os atributos granulométricos originais do solo, facilitando a remoção pelos agentes erosivos. Os Gárbicos e Úrbicos são os mais recorrentes nos interiores das voçorocas, na figura 88, o mapa mostra a localização das 12 incisões que possuem deposição tecnogênica, na bacia Colônia Antônio Aleixo.

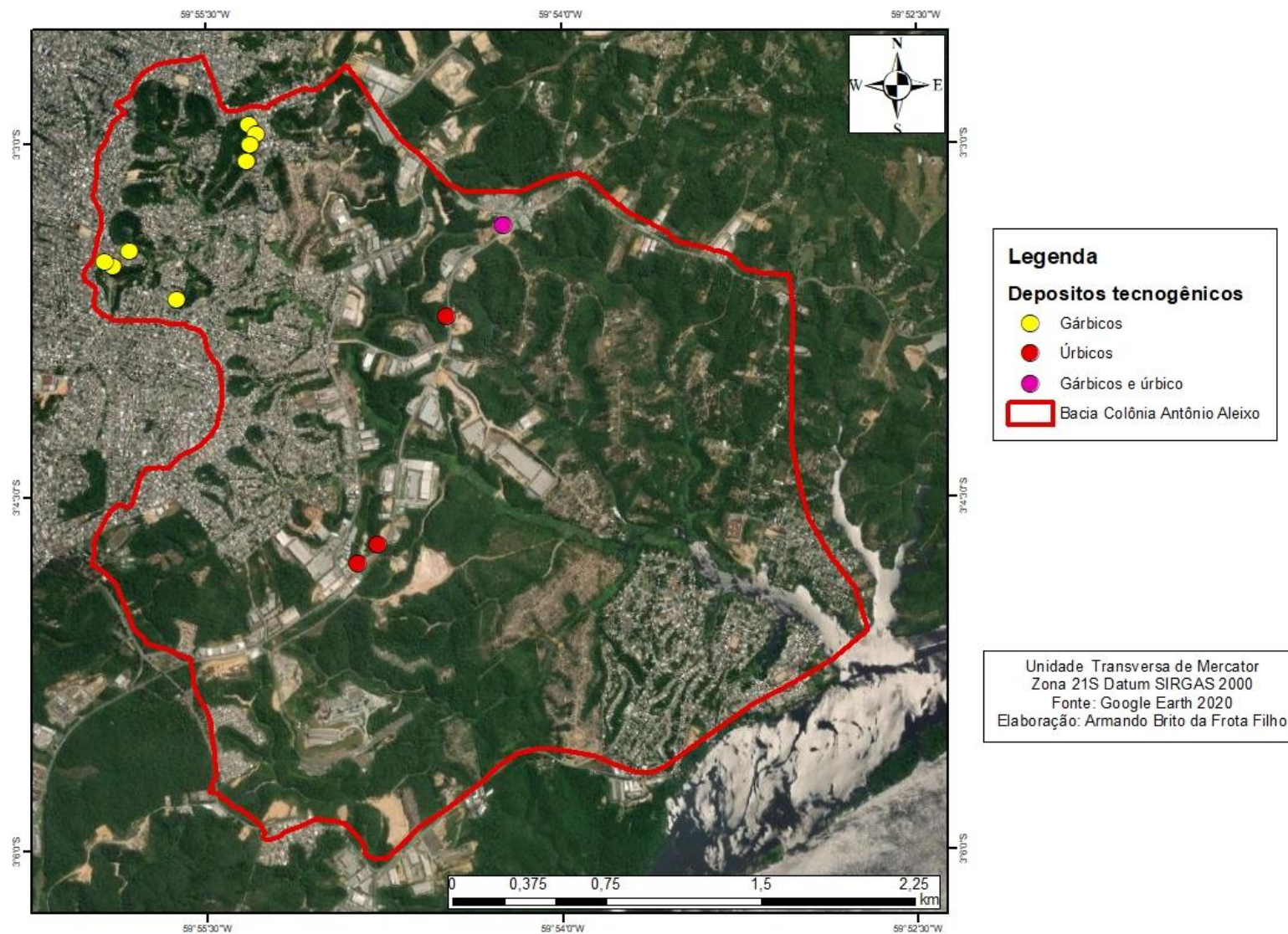


Figura 88: Mapa de localização das voçorocas com depósitos tecnogênicos (gárbicos e úrbicos) na bacia Colônia Antônio Aleixo. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Em bairros majoritariamente habitacionais nos quais o saneamento básico e coleta de resíduos sólidos são precários, as voçorocas são utilizadas como “bota-fora” ou mesmo lixões. Tal situação foi descrita por Vieira (2008) para a cidade de Manaus e observado na área de estudo (FIGURA 89 e 90). Essa forma de descarte dos resíduos sólidos gera os depósitos tecnogênicos Gárbicos.

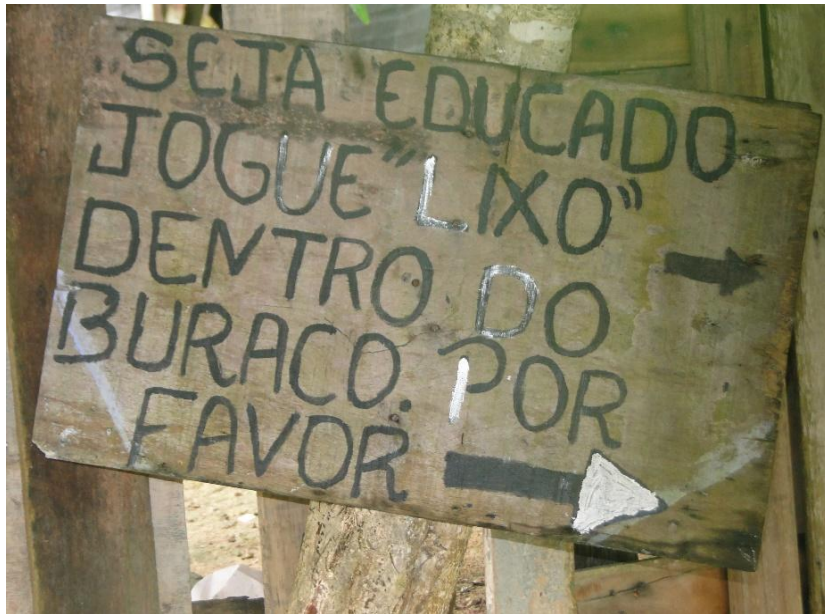


Figura 89: Placa localizada próxima à cabeceira de uma voçoroca, no bairro Gilberto Mestrinho, na bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus- AM. Fonte: Roberto Epifânio Lessa, 2016.



Figura 90: Voçoroca com deposição Tecnogênia Gárbica, no bairro Jorge Teixeira. Linha tracejada em vermelho indica a borda e limites da voçoroca. As setas pretas indicam os resíduos sólidos. Seta vermelha indica a presença de bananeiras no interior da incisão.

Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015.

Zolezzi e Bezzi (2017) indicam que em áreas densamente urbanas, densamente habitadas, a população despeja seus resíduos sólidos nas partes mais profundas das voçorocas e Burgo *et al.* (2002) explicam que essa ação tem intuito de empregá-los para o preenchimento de incisões com posterior aterro, sendo uma forma de recuperação da topografia original da paisagem. Contudo, “esta falsa intenção resulta numa condição final, com estrutura física totalmente divergente da original e que acaba não suportando fisicamente as capacidades de forma igual ao restante da área” (BURGO *et al.*, 2002).

Estes tipos de depósitos podem desenvolver diversas alterações nas dinâmicas naturais que ocorrem no interior das voçorocas, e em especial, no processo interno de remodelamento, como as feições secundárias. Neste caso, salientam-se como os depósitos do tipo gárbico influenciam no desenvolvimento de alcovas de regressão nas paredes das voçorocas.

À medida que a água (pluvial ou servida) escoar para dentro da incisão, esta ricocheteia, em especial, em superfícies como sacolas plásticas e sacos de lixo e incidem nas paredes, desencadeando processos erosivos, como as alcovas de regressão. O processo de retrabalhamento dentro de voçorocas é algo que acontece naturalmente, contudo, essa deposição antropogênica acelera esse processo.

O desenvolvimento de alcovas de regressão nas voçorocas cria um vazio na base da parede da incisão e conseqüentemente ocorre a desestabilização da parte superior do solo, que cai sobre os depósitos tecnogênicos e faz com que a voçoroca cresça.

Além disso, como os resíduos sólidos residenciais tem maior permeabilidade que o solo, fornecem menor resistência ao processo erosivo que a situação original, gerando assim, uma voçoroca ainda maior que a original (BURGO *et al.*, 2002).

Outra questão importante sobre esse tipo de depósito é que o mesmo perde volume com o passar do tempo e isso se deve ao processo de decomposição da matéria orgânica, no seu interior. Logo, mesmo que haja cobertura desse material por sedimentos transportados ou mesmo solo, este não terá coesão e cederá com mais facilidade, está é uma peculiaridade dos depósitos tecnogênicos gárbicos.

Assim, Burgo *et al.* (2002) indicam que quando as voçorocas são cobertas pelos depósitos tecnogênicos e sobreposta por camadas de sedimentos há a:

“formação de uma pequena depressão alongada acompanhando aproximadamente o eixo da erosão original, em virtude do recalque provocado pela decomposição gradual da fração orgânica do lixo aterrado. Essa depressão alongada age como elemento estrutural que favorece a concentração das águas de escoamento superficial que, na estação chuvosa, reativa o processo erosivo”. (BURGO *et al.*, 2002,P 03)

O processo de contenção de voçorocas, por meio de aterros baseados em depósitos tecnogênicos, não é viável, em especial, os gárbicos que perdem volume e têm baixa coesão.

Além dos processos e dinâmicas elencadas, estes depósitos tecnogênicos podem se tornar pontos de vetores de doenças como endêmicas e mesmo a aglomeração de ratos (VIEIRA, 2008). Além da contaminação de lençóis freáticos (BURGO *et al.*, 2002; ANICETO; HORBE, 2012) e canais fluviais a jusante (MENEZES *et al.*, 2016).

A prática de usar incisões erosivas como áreas de despejo de resíduos sólidos é recorrente na bacia, em especial, em bairros com ocupação majoritariamente habitacional, como observado no mapa com os depósitos tecnogênicos nos interiores das voçorocas, totalizando oito do tipo gárbico. O uso dessas feições erosivas como local de rejeitos sólidos, que Kieckhöfer *et al.* (2009) denomina de “voçorocas-lixões”, prática a qual os referidos autores indicam que “constitui um crime ambiental, causando a poluição do ar, solo e água”.

Essa atividade ocorre em bairros industriais também, como o Distrito Industrial II, no qual há 03 voçorocas com depósitos tecnogênicos úrbicos – que nesse caso, englobam restos industriais. Além disso, há o caso de uma voçoroca que com o passar dos anos perdeu suas características (fundo plano, paredes verticais) e tornou-se um “bota-fora” resíduos sólidos, a figura 91 mostra a evolução desse processo.



Figura 91: Mosaico com série histórica (anos de 2014; 2015; 2017; e 2018 – escala de 200 metros) da evolução de uma voçoroca pela ação humana sinalizada pelo quadro vermelho, localizado no bairro Distrito Industrial II, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM. Fonte de Imagens: Google Earth. Org: Armando Brito da Frota Filho.

As figuras de 92 a 95 expõem alguns dos processos pelos quais a voçoroca passou, até perder suas características, tais como, na primeira imagem na qual há a cabeceira da voçoroca que já havia passado por aterramento de árvores. As setas azuis, nas figuras 92 e 93, indicam o mesmo ponto sendo observado em períodos distintos. Na figura 93 e 94, os primeiros depósitos tecnogênicos e consequentemente o transporte do sedimento do interior da voçoroca antropogênico depositado no canal a jusante. Na figura 95, há a ilustração de uma parte da parede da voçoroca que foi escavada e transformada em um patamar, no qual os caminhões depositam material.



Figura 92: Cabeceira de uma voçoroca, no Bairro Distrito Industrial II. Setas pretas indicam os restos de uma árvore, seta azul borda da voçoroca. Fonte: Antônio Fábio Sabbá Guimarães Vieira, 2011.



Figura 93: Cabeceira de uma voçoroca no Bairro Distrito Industrial II, com intervenção humana e deposição tecnogênica. Seta azul borda da voçoroca. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2015.



Figura 94: Interior de uma voçoroca no Bairro Distrito Industrial II, com intervenção humana e deposição tecnogênica. Seta vermelha indica a localização da Deposição Tecnogênica; Seta amarela indica o canal assoreado, 2016.



Figura 95 : Cabeceira de uma voçoroca no Bairro Distrito Industrial II, com intervenção humana, escavação e deposição tecnogênica. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Como citado anteriormente, está voçoroca que perdeu suas características devido à ação humana, criou uma nova forma de relevo via sucessivas deposições tecnogênicas. Estas são classificadas como gárbicas e úrbicas, a figura 96 mostra parte dos depósitos com recorte, ilustrando a composição do material depositado.



Figura 96: Depósitos tecnogênicos inconsolidados no interior da voçoroca. Destaque na imagem para a composição do material. Bairro Distrito Industrial II. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Na área há deposição contínua de materiais, faz-se necessário entender como os sedimentos oriundos das voçorocas próximas e de origem antropogênica afetam o canal a jusante devido a mecanismo de transporte de materiais e lixiviação. Estes depósitos tecnogênicos alteram a composição física e química do solo e para tanto se realizou a caracterização físico-química desse material, assim como ensaios com bioindicadores.

5.5.3 Caracterização das propriedade físico-químicas dos sedimentos

A caracterização físico-química dos sedimentos antropogênicos é contextualizada e comparada com os sedimentos sem contaminação humana na base de uma voçoroca próxima. Isto é importante, pois os depósitos tecnogênicos são o resultado dos processos físico e químico realizados artificialmente, em vários materiais. Assim, argumenta D'Agostino (2008) que há “peculiaridades quando examinados sob o ponto de vista geológico, em analogia com casos naturais, ou mesmo no comportamento geotécnico, utilizando-se a mecânica dos solos”.

O que segundo o autor justifica o estudo e análise das características e propriedades dos sedimentos, visto que, esse material apresenta as propriedades fundamentais de estarem na forma de partículas desagregadas, tal como descrito em sedimentos arenosos naturais e em materiais mais finos, fração argila, a coesão (D'AGOSTINE, 2008).

Em termos granulométricos, ambas as amostras apresentam textura mais grosseira, (FIGURA 97). Na tabela 29, os dados das frações constituintes das amostras apresentam o sedimento limpo, classificado como franco-argilo-arenoso (*Sandy clay*). Devido ao total de areia 51,67% e pela concentração de silte e areia (fina e muito fina), que equivale a 33,22%, diretamente relacionado com o acentuado processo de erosão em curso da vertente que cede em forma de depósito coluvionar (MORGAN, 2005; GUERRA *et al.*, 2017).

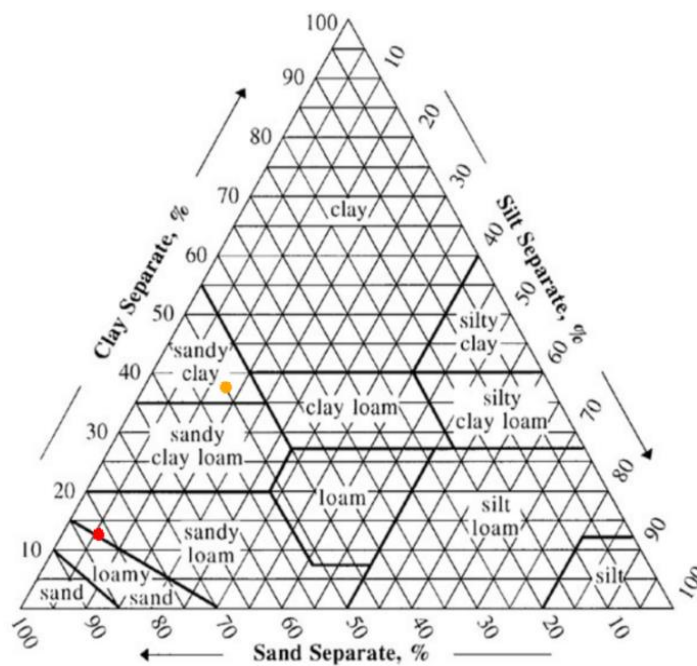


Figura 97: Triângulo textural U.S.D.A, Ponto vermelho – Sedimento contaminado; Ponto amarelo – sedimento limpo. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Tabela 29: Dados granulométricos dos sedimentos

	Granulometria (%)							Argila	Silte	Textura
	Areia									
	MG	G	M	F	MF	Total				
SL	1,87	7,66	19,17	18,35	4,62	51,67	37,84	10,26	<i>Sandy Clay</i> (Franco-Argilo-Arenosa)	
SC	3,11	15,59	34,97	24,29	5,61	83,55	12,37	3,78	<i>Loamy Sand</i> (Areia-Franca)	

SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado.
Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Isso ocorre devido à concentração de silte e areia (fina e muito fina), que equivale a 33,22%, que teve origem em pontos mais altos da vertente ou mesmo da borda da voçoroca, a qual foi cedendo em forma de depósito coluvionar. Além disso, observa-se a variação textural com teores reduzidos de argila e grande presença de areia nesse material sedimentar no fundo da voçoroca, a qual se deve ao transporte desse material mais pesado pela gravidade e processos erosivos locais que ocorrem nas bordas da incisão. Esse material sedimentar variou com porcentagens elevadas de areia, chegando a 51%, divergindo do solo da área, que é predominantemente argiloso. Os valores de areia nas amostras coletadas próximo a essa voçoroca tem valor médio de 4,47%, característico dos latossolos da região.

O sedimento contaminado é classificado como areia franca (*Loamy sand*), pois a quantidade de areia é de 85,55%, da qual 34,97% e 24,29% correspondem às areias médias e finas, respectivamente. Enquanto, a quantidade de argila é de 12,37%, o que indica nessa combinação (areia e argila) um material de pouca coesão e altamente friável.

A textura mais grosseira pode ser um reflexo da quantidade de matérias de origem mineral como cimento e tijolos ou resto de construção, algo que Peloggia (1999), Miyazaki (2014) e França Junior (2016), indicam a respeito dos depósitos tecnogênicos, de não possuírem um padrão granulométrico específico, pois estão muito relacionados às características da morfologia dos solos e dos materiais disponíveis na área, além dos materiais minerais que compõem os grupos de solos naturais, como argila, areia e silte que são depositados.

A tabela 30 exhibe as características físicas dos sedimentos, no que concerne a silte mais areia, ambas as amostras apresentam 33,22% e 33,67%, respectivamente para os sedimentos limpos e contaminados, isso significa o potencial de destaque e podem ser facilmente transportados.

Tabela 30: Características físicas dos sedimentos.

Características físicas dos sedimentos						Sedimento SC=
SL = limpo/ Sedimento	Silte + Areia (Fina e Muito Fina) (%)	Relação silte/ argila	Densidade do solo/ aparente (g/cm ³)	Densidade real/ partículas (g/cm ³)	Porosid. Total (%)	
SL	33,22	0,27	1,27	2,44	48,02	
SC	33,67	0,31	1,46	2,78	47,45	

contaminado

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Para Kiehl (1979) valores de densidade do solo que variam de 1,00 a 1,25g/cm³ são considerados como solos argilosos e de 1,25 a 1,40g/cm³ solos arenosos. Assim, os sedimentos limpos com 1,27 g/cm³ estão entre o argiloso e o arenoso, o que é corroborado pela sua granulometria. Os sedimentos contaminados têm densidade do solo de 1,46g/cm³, ou seja, pela classificação do autor, está acima do arenoso, o que significa que em ambos os casos a capacidade de formar estruturas é baixa, reiterando a baixa coesão do solo.

Quanto à densidade de partículas, os sedimentos contaminados apresentaram valor de 2,78 g/cm³, neste sentido Kiehl (1979) explica que óxidos de ferro e metais pesados elevam a densidade para valores ao redor de 3,0g/cm³, situação que ocorre na amostra, pois o valor de Fe disponível é de 197,72 mg/Kg e o valor de Zn é de 13,1 mg/Kg.

Quanto aos aspectos físicos, as diferenças entre solos e depósitos fazem com que processos erosivos sejam facilitados, pois os materiais depositados são facilmente removidos. A quantidade de areia nas amostras também influenciou a porosidade, pois segundo Kiehl (1979) “considera-se que, em média, a porosidade dos solos arenosos varia de 35 a 50%”, e a 48,02 e 47,45% para os sedimentos limpos e contaminados, respectivamente. Além de ser um reflexo da baixa quantidade de matéria orgânica nas amostras (TABELA 31), ambas abaixo de 1%.

Os sedimentos contaminados apresentaram 0,48% de matéria orgânica, este valor é superior em relação ao sedimento limpo, e isso pode ser um indicativo de que parte do material despejado no local tenha caráter orgânico. Ainda que a quantidade seja pouca, faz diferença no processo de pedogênese que ocorre sobre os sedimentos (FIGURA 98).

Tabela 31: Teor de Carbono e matéria orgânica nas amostras de sedimento

		Teor de Matéria orgânica			
		C (g/Kg)	M.O (g/Kg)	C (%)	M.O (%)
SL	0-30	0,16	0,27	0,16	0,03
SC	0-30	2,76	4,76	2,76	0,48
Razão SC/SL	-	17,50	17,50	17,50	17,50

Carbono e Matéria Orgânica.

SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.



Figura 98: Depósito tecnogênico gárbico e úrbico com processo de pedogênese (círculo vermelho).

Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

O pH dos sedimentos limpos é de 5,32 e 4,75 em H₂O e KCl, respectivamente, e dos contaminados é de 6,53 e 5,82 também para H₂O e KCl (TABELA 32). De acordo com Kiehl (1979) o pH com os valores abaixo de 5,5 e os solos minerais contêm alumínio trocável, sendo que, quando com altos teores de matéria orgânica podem ter alumínio trocável até ao pH 6,0.

Tabela 32: Dados de pH sedimentos limpos e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.

	Prof. (cm)	pH		
		H ₂ O	KCl	ΔpH
SL	0-30	5,32	4,75	-0,57
SC	0-30	6,53	5,82	-0,71

SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

A amostra de sedimento limpo tem pH com valores aproximados aos encontrados no solo do ponto 02, com valores de 4,9 a 5,29 em H₂O e 4,33 a 4,43 em KCl, que correspondem às paredes e cabeceira da voçoroca que origina os sedimentos.

Quantos aos contaminados, Aniceto e Horbe (2012), indicam que depósitos tecnogênicos, em especial, os Gárbicos que interagem negativamente com o solo. Alterando o seu pH quando a carga química é excessiva, os elementos migram por difusão e se tornam fonte de contaminantes para a vegetação ou por meio da infiltração da água da chuva que os arrasta e contamina a água subterrânea.

O ΔpH em ambas amostras foi negativo, contudo, as amostras advindas do depósito tecnogênico tem amplitude maior, o que segundo Kihel (1979) significa que a quantidade de Al trocável é elevada. Taxas elevadas de Al trocável podem ser consideradas tóxicas (Al³⁺ e AlOH²⁺) no solo, pois algumas espécies vegetais são intolerantes em ambientes como estes (HALISKI, 2018).

Em termos de macro e micronutrientes (TABELA 33), o sedimento limpo que passa por processos de lixiviação intenso apresenta quantidade inferior ao que o contaminado. Este último apesar da granulometria mais grosseira (83,55% de areia), apresenta uma quantidade maior de nutrientes, a exemplo do Nitrogênio que pode ser oriundo dos resíduos domésticos e dejetos humanos, que durante a decomposição libera esses nutrientes.

Essa diferença é maior quando se observam os valores de Fósforo (0,30 e 19,76 mg/Kg), Potássio (6,20 e 19,79 mg/Kg) e Ferro (4,20 e 197,72 mg/Kg), dos sedimentos limpos e contaminados, respectivamente. Logo, mesmo o sedimento contaminado apresentando granulometria grosseira e pouca coesão, tem quantidade maior de nutrientes que subsidiem o desenvolvimento de espécimes vegetais, isso corroborado pelo menos ácido, se comparado com o sedimento limpo, e com as amostras de solo da área.

Tabela 33: Síntese dos parâmetros químicos (fertilidade do solo) avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.

Características químicas											
	Prof (cm)	Macronutriente					Micronutriente				
		N	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe	Zn	Mn	PO ₄	Al ³⁺
		g/Kg	mg/Kg				mg/Kg			mg/Kg	
SL	0-30	0,11	0,30	9,59	1,70	6,20	4,20	0,19	0,20	0,92	8,99
SC	0-30	0,25	19,76	147,04	9,80	19,79	197,72	6,22	3,35	60,60	0,00
Razão SC/SL	-	2,33	66,16	15,33	5,77	3,19	47,01	32,74	16,75	66,16	-

SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Os valores de AL^{3+} para o sedimento contaminado foram de zero, ou seja, não sendo encontrado esse parâmetro na amostra, o que indica que a maior parte do material que compõe o sedimento não deriva da região, onde foi depositada, logo não apresenta as mesmas características físicas, químicas e possivelmente mineralógicas. Isso pode ser inferido pelo fato do AL^{3+} ser um elemento de baixa mobilidade no solo, não podendo ser lixiviado.

No que se refere à tabela 34, as quantidades de Zinco são maiores, o que tem relação com resíduos do local, mas em ambos os casos, metais como chumbo, níquel, cádmio, arsênio e mercúrio obtiveram valores abaixo do que o aparelho consegue registrar. Em relação ao CONAMA 2009, todos os valores do sedimento contaminado ficaram abaixo da média permitida pelo órgão. A única discrepância em relação aos dados de metais pesados é o valor do Cromo (35,3 mg/Kg), estando acima do valor de referência que é 15 mg/Kg.

Tabela 34: Síntese dos parâmetros químicos (metais pesados) avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.

Características químicas											
	Prof. (cm)	Metais pesados									
		Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Cr	As	Hg	Fe	Al
		mg/Kg									
SL	0-30	1,5	5,7	< 4,0	< 4,0	< 0,8	35,3	< 4,0	< 4,0	6,3	55,2
SC	0-30	13,1	4,0	< 4,0	< 4,0	< 0,8	12,3	< 4,0	< 4,0	4,1	13,5
Razão SC/SL	-	8,73	0,70	---	---	---	0,35	---	---	1,53	0,24
Valor de referência	300	60	72	301,3	---	75	15	5	---	---	

Valor de referência, de acordo com resolução n° 420, de 28 de dezembro de 2009.

SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado.

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Contudo, isso pode ser um reflexo da ação da granulométrica com maiores percentuais de areias e de materiais de origens diversas que geram pouco potencial agregador. Ou seja, os metais pesados podem ter sido lixiviados, e permaneceram, no local apenas os elementos de menor mobilidade.

Consequentemente provocando contaminação dos canais a jusante e de lençóis freáticos como efeitos *offsite*. Assim, ocasionando o que Walsh *et al.* (2005) denominam de síndrome do rio urbano, no qual estes sintomas como alteração da morfologia do canal, elevação das concentrações de nutrientes e contaminantes, e redução da riqueza biótica ocorrem.

5.5.4 Ensaio com bioindicadores nos sedimentos

Devido à grande quantidade e diversidade de material tecnogênico depositado, no interior da voçoroca, buscou-se mensurar se os resíduos lançados são capazes de causar danos

à fauna endopodônica, desta forma, foram realizados testes com bioindicadores nos sedimentos da voçoroca com deposição tecnogênica e em um sedimento controle/limpo, ou seja, um material que não teve contato direto com o contaminante.

Como resultado pôde se observar que das minhocas utilizadas, houve sobrevivência de 100% dos indivíduos (GRÁFIO 18), assim os bioensaios sugerem baixos níveis de ecotoxicidade aguda e baixa biodisponibilidade de metais altamente tóxicos, o que indica que não há material tóxico no sedimento que possa eliminar esse bioindicador, em específico.

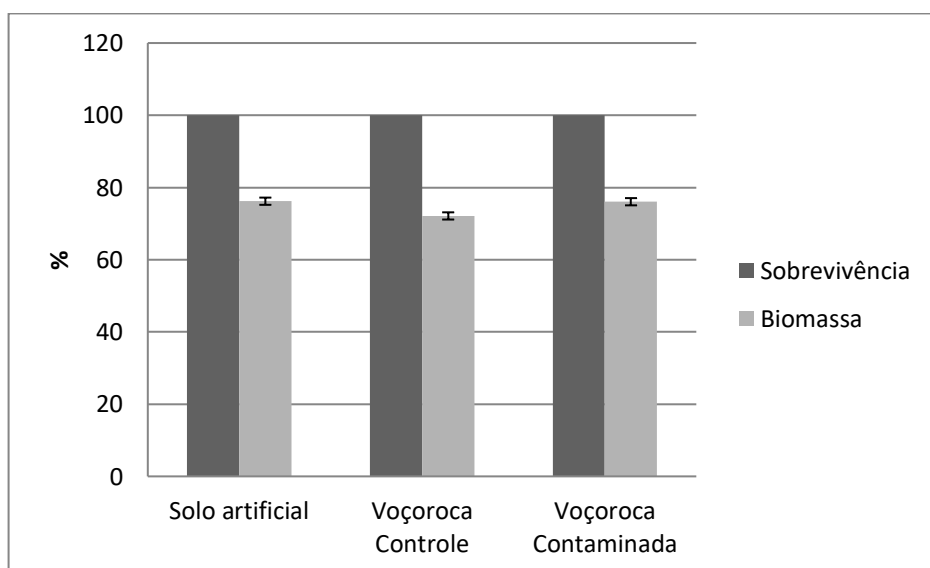


Gráfico 18: Teste com crônica com uso de bioindicadores, uso de Enseia andrei.
Org. Armando Brito da Frota Filho, 2018.

Todos os indivíduos analisados perderam massa durante o bioensaio, contudo os que estavam no artificial tiveram a menor perda de peso, visto que essa amostra imita um solo com fonte de alimentos.

O resultado obtido com a amostra contaminada concorda com o observado no solo artificial, tomado como um ambiente capaz de atender às demandas básicas da espécie (GARCIA, 2004; YASMIN; D'SOUZA, 2010), pois ao fim do ensaio apresentaram 76,06% de seu peso inicial, pois há perda de peso durante o processo, neste caso ela foi pouca. Isso indica que a matéria orgânica presente na amostra, em especial, os compostos gárbicos (resíduos sólidos domésticos) foram utilizados como fonte de alimento pelos oligoquetas, fato também observado por Cesar *et al.* (2014) ao registrar engordamento em indivíduos expostos a sedimentos fluviais contaminados.

A biomassa das minhocas que foram expostas ao sedimento controle/limpo reduziu, com 72,12% da massa original, significando que estas perderam peso devido à falta de alimento

nesse material. Por se tratar de um sedimento altamente arenoso e sem vegetação, os processos de lixiviação retirando os poucos nutrientes que esse depósito possui, além de não haver forma natural de reposição destes. Que por sua vez faz com que a área seja pouco adequada à presença de fauna endopedônica.

O teor de matéria orgânica do sedimento, na tabela 04, tanto o carbono orgânico quanto a matéria orgânica presente na amostra contaminada são superiores aos valores do sedimento limpo. Os valores de Matéria Orgânica foram pouco expressivos com 0,03% no sedimento limpo e 0,48% no contaminado, sua razão entre é maior, justificando a pouca perda de peso das minhocas. Sendo que este teor orgânico tem como origem o chorume produzido pela decomposição de resíduos orgânicos e mesmo passando pelo processo de lixiviação é repostado com frequência.

Cesar *et al.* (2014) discute que a presença de argilominerais são capazes de diminuir a biodisponibilidade de contaminantes na solução do solo, em especial, as argilas 2:1 retêm metais e poluentes orgânicos devido a sua capacidade de adsorção de cátions. Entretanto, na área as amostras são arenosas, em particular, a contaminada com valores acima de 80%, assim a água da chuva encontra facilidade em solubilizar e transportar os contaminantes, mantendo os teores de concentração sempre baixos apesar de seu constante lançamento.

Granulometrias mais grosseiras como as areias favorecem a permeabilidade elevada, condição que favorece a percolação de grande quantidade de água e conseqüentemente maior carregamento de chorume, principalmente na estação chuvosa, evidenciando contaminação do aquífero e conseqüentemente das águas superficiais, como argumenta Junqueira Júnior *et al.* (2010).

A matéria orgânica coloidal é outro fator fixante de contaminantes em solos e sedimentos (CESAR *et al.*, 2014; DIAGBOYA *et al.*, 2015) e a sua ausência limita retenção destes no solo, mesmo que a M.O. esteja presente, sua porcentagem é quase insignificante para fixação. Nesse caso, por mais que haja qualquer tipo de contaminação, no local, com *inputs* de contaminantes constante, devido às suas propriedades físico-químicas e mineralógicas o material será majoritariamente lixiviado, favorecendo a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

A concentração de substâncias tóxicas nunca se aproxima dos limites fixados pela legislação (CONAMA) e o risco oferecido à fauna e flora endopedônica é mínimo. No entanto, depósitos tecnogênicos estabelecidos sobre solos com teores altos de argila, silte e/ou matéria orgânica respondem de maneira oposta.

Por isso é importante considerar o destino final de resíduos sólidos, pois para Hunt (1993) as culturas diferem muito na produção, no que consideram no tratamento de resíduos sólidos domésticos, contudo a visão do autor pode ser ampliada para o descarte de outros tipos de resíduos, como o industrial e da construção civil. A fim de evitar não só os impactos ao meio físico como solos, água e biota, tal qual no âmbito social, levando em conta a população que mora próximo a estes locais e como isso as afeta em termos de saúde e qualidade de vida de maneira mais ampla.

5.6 Geomorfologia antropogênica e suas influências nos processos erosivos na bacia Colônia Antônio Aleixo

As transformações do relevo pela ação humana vêm sendo cada vez mais estudadas, em razão do avanço tecnológico do sistema socioeconômico, há o desencadeamento de transformações graduais e intensas nos elementos dos sistemas físico-ambientais, nas mais diversas escalas. Os elementos diretamente influenciados pelas atividades humanas são a vegetação, a cobertura pedológica, as formas do relevo e a rede hidrográfica (PASCHOAL *et al.*, 2015), tendo como resultado o **meio técnico-científico-informacional**.

Frechiani e Marchioro (2017) indicam que as intervenções antrópicas provocaram a criação de ambientes antrópicos, isto é, aqueles que não possuem mais as características da morfologia original. Que corresponde a geomorfologia antropogênica, acontecendo tanto em ambientes urbanos quanto em rurais.

Assim, em ambiente urbano a ocorrência de erosão está normalmente ligada ao uso da terra, à falta de manejo adequado e de práticas conservacionistas (OLIVEIRA *et al.*, 2021), estágios de urbanização, além da geração e/ou atuação sobre as formas antropogênicas.

Com o avanço desse ramo da geomorfologia, que foca no homem como agente alterador e formador do relevo, há necessidade de se classificar, entender estas novas formas e seus processos de formação. Além de caracterizar como estas novas formas de relevo são susceptíveis aos processos erosivos

5.6.1 Classificação do relevo antropogênico

Isto pois, a Geomorfologia não trata exclusivamente das formas do relevo em si, e sim busca entender como atuam os processos e mecanismos envolvidos num dado lugar, além das suas mudanças (SIMON, 2010) e processos evolutivos.

Para tanto, esta proposta tem como base o processo de formação e evolução destas formas de relevo de Hart (1986) *apud* Rodrigues (2011), baseados nas formas, materiais e processos atuantes, considerando:

- 1) **Forma atual:** forma antropogênica resultante – Ex: talude, encosta, planície, patamar.
- 2) **Processo de formação:** Os processos que atuaram na formação e/ou esculturação do relevo – Ex: terraplangem, remoção ou deposição de material.
- 3) **Constituição:** material que constitui – Material de aterro, resíduos sólidos/ deposição tecnogênica.

4) **Intencionalidade**: as formas estão sujeitas às alterações enquanto a intencionalidade é descrita por Rodrigues (2005) como podendo ser direta ou indireta, com intenção ou intenção de alterar o relevo, respectivamente.

5) **Susceptibilidade à erosão**: quão susceptível essa forma de relevo é aos processos erosivos – se há baixa coesão do material, qual a declividade e outros parâmetros que influenciam no processo erosivo.

A figura 99 esquematiza a intencionalidade dos processos e quais suas consequentes formas de relevo. As ações diretas, ou seja, as que são realizadas pelo homem de forma consciente geram taludes, encostas, terraços, patamares e planícies, visto que são processos tanto de remoção de materiais, quanto de deposição, sendo exemplo disso: terraplanagens e terraceamentos, aterro de canais, sucessivas deposições que podem formar encostas, planícies e/ou morro de topo achatado.

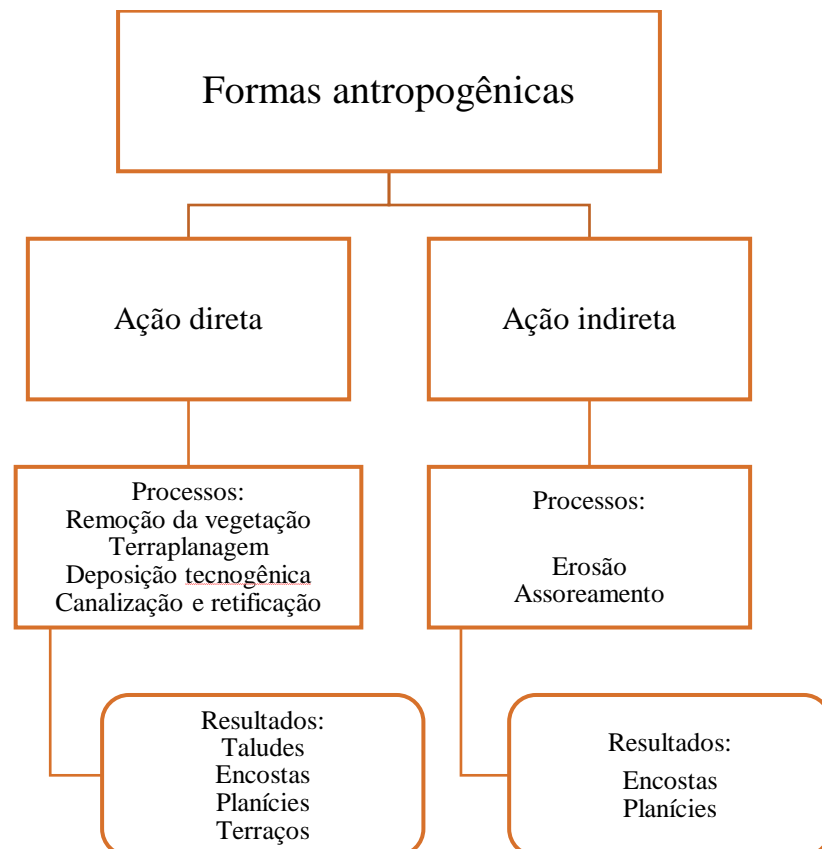


Figura 99: Organograma dos processos que formam as feições antropogênicas.
Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

O organograma ilustra que as planícies são as formas de relevo mais recorrentes, pois podem ser resultantes tanto da ação direta quanto indireta do homem. As ações diretas justificam-se pelo processo de ocupação urbana, visto que para o uso do terreno passa-se por processos de terraplanagem, retirada e planificação de camadas do solo. A ação indireta ocorre

por ser um processo natural exógeno acelerado, no qual os processos erosivos são desencadeados em maior velocidade, seguido pelo carreamento de material erodido e seu aplainamento ocorrem de forma natural.

Uma ressalva que se faz em relação aos níveis taxonômicos do relevo é que, apesar das ações antrópicas ocorrerem em nível mais local, e muitas vezes pontuais, notoriamente, se enquadram nos táxons 5 e 6. Contudo, o coletivo destas ações e suas formas resultantes, por abrangerem áreas maiores podem ser enquadradas no táxon 4, seja porque as áreas foram alteradas de forma direta, indireta ou ambas.

Nesse sentido Peloggia *et al.* (2014) advoga que “áreas amplas com extenso e típico relevo transformado ou produzido pela ação humana” podem ser classificadas em taxonomias de maior hierarquia, como o táxon 4.

Formas de relevo antropogênicas aqui inventariadas e apresentadas têm como base a escala espacial da classificação das unidades taxonômicas dos Táxons 4 e 5 proposto por Ross (1992) e os modelos descritos pelo IBGE (2009) como “um polígono de modelado que abrange um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais”.

Interpreta-se o modelado do relevo e sua evolução em uma perspectiva multiprocessual, multiescalar e contextualizada ao meio social em que se enquadra. Visto que os processos e agentes modeladores são tanto naturais como antropogênicos, que agem de forma concomitante e com diferentes intensidades dependendo do tipo de relevo.

Para tanto o Quadro 13 exibe a taxonomia do relevo da bacia Colônia Antônio Aleixo, desde o táxon 1, de maior abrangência, ao táxon 6, de maior detalhe. Salientando os táxons que passam por influência humana, e por consequência, são alterados.

Os níveis taxonômicos da área são:

1º Táxon – Unidades morfoestruturais – correspondem às macroestruturas, como a Bacia Sedimentar da Amazônia.

2º Táxon – Unidades morfoesculturais – correspondem aos compartimentos e subcompartimentos do relevo pertencentes a uma determinada morfoestrutura e posicionados em diferentes níveis topográficos, como o planalto dissecado do rio Trombetas.

3º Táxon – Padrões fisionômicos de formas – corresponde ao agrupamento de formas de agradação (relevos de acumulação) e formas de denudação (relevos de dissecação), aqui caracterizadas pelas colinas suavemente onduladas e pelas planícies e terraços.

4º Táxon – Conjuntos de formas semelhantes – correspondentes às tipologias do modelado. Formas como planícies originais e terraços originais, além das planícies antropogênicas e terraços antropogênicos, que podem ser relevos de acumulação ou aplanamento.

5º Táxon – Tipos de formas – Encostas retilíneas, côncavas e convexas; Encostas antropogênicas (retilíneas)

6º Táxon – Formas lineares do relevo – Feições erosivas lineares como ravina e voçorocas.



Essa compartimentação em unidades taxonômicas auxilia na identificação de quais são os tipos de formas na qual, se concentram os processos morfodinâmicos (ROSS; AMARAL, 2006). Os quadros de 14 a 20 caracterizam as formas antropogênicas em encostas, planícies e terraços cujos processos de formação e o principal agente geomorfológico é o homem.

Quadro 13: Aplicação da classificação taxonômica na bacia Colônia Antônio Aleixo.

1° TAXON	2° TAXON	3° TAXON	4° TAXON	5 ° TAXON			6° TAXON
Morfoestrutura	Morfoescultura						
Bacia Sedimentar da Amazônia	Unidade Morfoescultural	Padrões de Formas Semelhantes	Tipos de Formas de Relevo	Tipos de Vertentes	Litologia dominante	Tipos de solos dominantes	Formas de processos erosivos atuais
	Planalto dissecado do rio Trombetas	Colinas suavemente onduladas	Colinas	Vertentes côncavas, convexas e retilíneas	Arenito Manaus	Latossolo	Cabeceiras de drenagem com erosão acelerada e voçorocas
				Vertentes retilíneas antropogênicas, patamares e taludes		Argissolo	Erosão laminar e voçorocas
		Planícies e terraços	Planícies e terraços fluviais	Planos		Solos de origem antrópica (Antropossolos)	Neossolo Quartzarênico
Planícies e terraços antropogênicos							



Org.: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 14: Ficha com as características da forma – Talude antropogênico

Forma	Talude
Tipo	Terraplanagem
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação direta
Tipo de modelado	Remoção
Descrição	Resultante de sucessivos escavamentos e remoção de material e/ou horizontes do solo. Apresenta inclinação de 60° ou mais. Pode desenvolver processos erosivos se não apresentar algum tipo de cobertura ou proteção contra intempéries.
Susceptibilidade à erosão	A susceptibilidade à erosão dessa forma de relevo está relacionada tanto ao material de origem, que pode ser horizontes pedológicos ou rocha, quanto com ausência de cobertura vegetal associada à declividade são mais susceptíveis à erosão pela chuva.



Linhas vermelhas indicam a área da forma antropogênica. Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2019. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 15: Ficha com as características da forma – Encosta antropogênica

Forma	Encosta antropogênica
Tipo	Aterro
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação direta
Tipo de modelado	Acumulação
Descrição	Encosta de acumulação antrópica – área resultante de sucessivos depósitos tecnogênicos (gárbicos, espódicos, úrbicos e/ou dragados) que sofreram processo de compactação (por ação antrópica ou natural). Encosta do tipo retilínea, que pode evoluir para côncava ou convexa, a partir de processos erosivos. Depósitos em processo de pedogênese incipiente.
Susceptibilidade à erosão	A susceptibilidade à erosão dessa forma de relevo está relacionada ao material inconsolidado que é destacado e carregado com mais facilidade, visto que os depósitos tecnogênicos tem baixa agregabilidade. Além disso, associa-se à declividade da encosta com ausência de cobertura vegetal.



Linhas vermelhas indicam a área da forma antropogênica. Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2019. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 16: Ficha com as características da forma – Patamar antropogênico

Forma	Patamar antropogênico
Tipo	Terraplanagem
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação direta
Tipo de modelado	Aplainamento
Descrição	Área que passou por processos sucessivos de remoção da camada de solo, processos de compactação. Sem processo de pedogênese.
Susceptibilidade à erosão	Pelo nível de compactação do solo, via maquinário e ausência de cobertura vegetal, os processos de destaque e transporte são favorecidos, possibilitando a formação de feiões erosivos de grande porte como voçorocas.


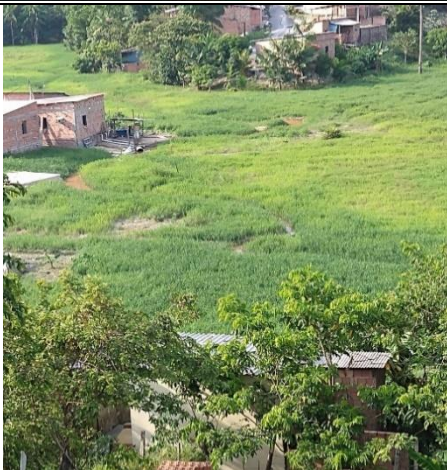
Linhas vermelhas indicam a área da forma antropogênica. Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2019. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 17: Ficha com as características da forma – Planície antropogênica

Forma	Planície antropogênica
Tipo	Canal parcialmente aterrado
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	 Vista da pista.
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação direta
Tipo de modelado	Acumulação
Descrição	Planície de acumulação antrópica – Trecho de canal fluvial parcialmente aterrado por materiais de construção civil e/ou depósitos tecnogênicos (gárbicos, espódicos, úrbicos e/ou dragados) que passaram por processo de compactação (por ação antrópica) e impermeabilização, com manilha para fluxo de águas.
Susceptibilidade à erosão	Ao se considerar que o material utilizado apresenta certa consolidação, o potencial erosivo é reduzido, O único fator que pode aumentar a susceptibilidade à erosão é a presença de canaleta das águas pluviais/servidas sem presença de dissipadores de energia, que nesse caso pode desenvolver feições lineares, cuja fonte de crescimento é o fluxo advindo da canaleta.



Linhas vermelhas indicam a área da forma antropogênica; linha tracejada em azul indica o caminho do canal fluvial. Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2020. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 18: Ficha com as características da forma – Planície antropogênica

Forma	Planície antropogênica
Tipo	Canal aterrado
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	 Vista da pista
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação direta
Tipo de modelado	Acumulação
Descrição	Planície de acumulação antrópica – área plana resultante de sucessivos depósitos tecnogênicos (gárbicos, espódicos, urbicos e/ou dragados) que sofreram processo de aplanação (por ação antrópica ou natural).
Susceptibilidade à erosão	Apesar dos materiais utilizados no processo de aterramento serem diversos, estes são aglutinados com cimento e/ou concreto, logo impermeabilizados e com menor probabilidade de sofrer erosão. Além disso, por estarem próximos ao nível de base local e com pouca declividade tendem a ter processos erosivos menos acentuados.



Linhas vermelhas indicam a área da forma antropogênica; linha traceja em azul indica o caminho do canal fluvial. Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2020. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 19: Ficha com as características da forma – Planície antropogênica

Forma	Planície antropogênica
Tipo	Assoreamento de canal
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação indireta
Tipo de modelado	Acumulação
Descrição	Rios, igarapés ou pequenos cursos d'água que passaram por processos de assoreamento resultante do processo carreamento de materiais por sucessivos anos, oriundos de diversas fontes como voçorocas. E consequente aplainamento.
Susceptibilidade à erosão	Estas áreas por serem originalmente fundos de vale, ou seja, próximas ao nível de base local, e pela baixa declividade a susceptibilidade é menor aos processos erosivos. Contudo, se os processos erosivos a montante reduzirem, pode ocorrer escavação da rede drenagem original, visto a inconsolidação o material depositado, e que voçorocas podem ser caracterizadas como canais de ordem Zero.

Linhas vermelhas indicam a área da forma antropogênica; Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Antônio Fábio Vieira, 2008 Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Quadro 20: Ficha com as características da forma – Terraço antropogênico

Forma	Terraço antropogênico
Tipo	Planície de inundação aterrada
Imagem <i>Google Earth</i>	
Imagem <i>in situ</i>	
Intencionalidade (Ação direta/indireta do homem)	Ação direta
Tipo de modelado	Acumulação
Descrição	Terraço de acumulação antrópica - área plana, levemente inclinada apresentando ruptura de declive em relação ao leito do rio às várzeas (planícies de inundação) recentes situadas em nível inferior, entalhada e resultante de sucessivos depósitos tecnogênicos (gárbicos, espódicos, úrbicos e/ou dragados) que sofreram processo de aplanamento (por ação antrópica ou natural).
Susceptibilidade à erosão	Devido à pouca cobertura vegetal, associada aos materiais de composição pouco consolidados, a susceptibilidade erosiva é maior. Além disso, o fluxo de água neste desnível abrupto tende a ganhar mais energia cinética. Outro fator de susceptibilidade é o fluxo de água que atinge o encontro entre o terreno original e a forma de relevo antropogênica, assim o solo de menor resistência tende a ser destacada e carreado com mais facilidade.

Chave em vermelho indica a área da forma antropogênica; Fonte: Imagem do Google Earth, ano de 2020. Foto: Armando Brito da Frota Filho, 2019. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021. Elaboração: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Ross (1996) reforça que os estudos geomorfológicos devem contemplar:

"à 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." (ROSS, 1996)

A geomorfologia antropogênica permite averiguar de maneira integrada e eficiente os elementos envolvidos nas transformações (SIMON, 2010) executadas por processos humano-sociais. As pesquisas em ambientes urbanos requerem abordagens que integrem as questões sociais e comportamentais associadas com/no meio físico (WALSH *et al.*, 2005).

A se considerar a multiplicidade de agentes e processos, as formas resultantes são amplas, mas observou-se a predominância de modelados de acumulação em detrimento de denudação, visto que os processos humanos diretos ocasionaram maior quantidade de alocação de material, para criação de planícies ou de terraços.

A despeito da remoção de uma quantidade significativa de material (solos e sedimentos), estes ainda representam pouco material ao se considerar a quantidade de canais aterrados e assoreados na bacia.

É importante salientar que nem toda deposição de origem humana gera uma forma de relevo, pois como Miyazaki (2014) explica os depósitos tecnogênicos que não ocorrem de maneira uniforme na paisagem, mas podem estar acumulados em determinados locais, assim criando formas de relevo antropogênicas. Assim, nem todas as voçorocas que apresentam esse tipo de deposição se configuram como novas formas, mas se estas não forem evitadas ou retiradas, eventualmente formarão algum tipo de relevo antropogênico, dinâmica recorrente em ambientes urbanos (BAUMBACH *et al.*, 2020).

Reitera-se que estas formas de relevo antropogênicas apresentam susceptibilidades diferenciadas se comparadas com o relevo original. Pois os sedimentos antropogênicos que as constituem não ocorrem uniformemente, seja no tempo ou no espaço, isso faz com que esse material apresente inconsolidações e desconectividades, sendo mais facilmente erodíveis, assim que o processo erosivo se inicie.

Outro ponto relevante é a descontinuidade de materiais entre as formas de relevo antropogênica e o relevo sobre o qual se edifica, esse é outro fator que colabora para o desencadeamento de processos erosivos. É nessa descontinuidade que a erosão pode se desenvolver e, por consequência desestabilizar e/ou erodir a forma antropogênica.

A própria evolução desse relevo é diferenciada, a exemplo disso a encosta antropogênica descrita, no Quadro 15, é uma sucessão de depósitos tecnogênicos (gárbicos, úrbicos e

espódicos) que pelo seu próprio processo de formação tem formato retilíneo, o material tem naturezas diversas, e por mais que sejam sucessivas camadas sobrepostas, estas não estão consolidadas. Isto faz com que sua morfometria seja instável, podendo ser facilmente erodido e dessa maneira adquirindo novas formas, quando a sobreposição da morfogênese sobre a pedogênese. Além da possibilidade do desenvolvimento de uma incisão ou reativação da anterior.

Quando o processo de pedogênese supera a morfogênese, pode dar origem a solos antropogênicos, denominados de antropossolos ou tecnossolos. Nesse caso, o processo de formação do solo e criação de cobertura vegetal pode dar maior resistência à erosão, em especial, pelo desenvolvimento de agregabilidade do solo, e incremento de propriedades físicas e químicas do solo, além da presença de fauna endopedônica.

Além disso, em voçorocas que são feitas de lixão, comuns em ambiente urbano e na parte residência da bacia, os resíduos sólidos atuam como agentes intensificadores dos processos erosivos, criando alcovas de regressão nas paredes das incisões.

Outro ponto referente aos depósitos tecnogênicos, em especial, os gárbicos é que eles se tornam fonte de nutrientes visto a alta quantidade de matéria orgânica oriunda dos restos de comida, por exemplo. O que auxilia no desenvolvimento de plantas, e espécies que tem convergência dos ramos para o caule, como bananeiras, que segundo Coelho Netto (1994) geram fluxo de tronco, intensificando o potencial erosivo de fluxos concentrados, como a vegetação da figura 100.

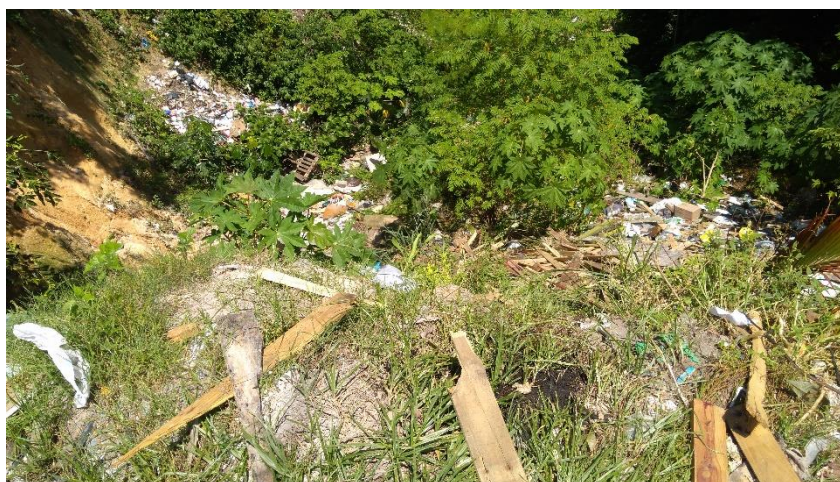


Figura 100: Vegetação crescendo sobre deposição tecnogênica gárbica no interior de uma voçoroca, bairro Jorge Teixeira, bacia Colônia Antônio Aleixo. Fonte: Armando Brito da Frota Filho, 2020.

No caso do quadro 16, Patamar antropogênico – terraplanagem, a sua susceptibilidade à erosão se deve à remoção das camadas superiores do solo, que desnudaram o horizonte C, que

por sua vez foi compactado via maquinário. Estas características potencializam o processo erosivo, em especial, pelos fluxos superficiais concentrados.

Na figura 101, apresenta-se a área do patamar antropogênico – terraplanagem e que nele se desenvolveram pelo menos duas voçorocas, uma delas monitorada neste estudo (voçoroca 01) e a outra, presente, desde 2004, e obliterada por ação humana em 2015²³. Nesse sentido, esta forma de relevo não só apresenta susceptibilidade ao processo erosivo, visto a presença das voçorocas, assim como outras feições como microravinas, pedestais e alcovas.



Figura 101: Área do Patamar antropogênico – terraplanagem, com a voçorocas 01 e em vermelho incisão que se formou nessa mesma forma de relevo. Imagens da série histórica do Google Earth dos anos de 2004 e 2006. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2021.

Em consideração à rede de drenagem da bacia Colônia Antônio Aleixo, 1734 metros foram modificados e se enquadram em planícies antropogênicas – canal parcialmente aterrado. E no que concerne a estas (QUADROS 17 e 18) e aos terraços antropogênicos – planícies de inundação aterrada (QUADROS 20), a vulnerabilidade ao processo erosivo é reduzida drasticamente pelo fato de serem parcialmente constituídos de concreto e/ou cimento que além de impermeabilizar a forma antropogênica, consolidando-a.

Nesse caso, o processo erosivo não se dá na forma em si, mas nos pontos de descontinuidade, ou seja, no encontro entre o cimento/concreto da forma antropogênica com o solo natural. Assim, podem causar feições erosivas nas bordas e o que por sua vez podem

²³ Ano da última imagem no google Earth Pro na qual a voçoroca aparece.

desestabilizar as estruturas destas planícies. Como a formação de dutos sob estas formas, que podem gerar afundamentos, estes sendo uma das preocupações descritas por Oliveira *et al.* (2021) como uma das “principais consequências das influências antropogênicas”.

Oliveira *et al.* (2021) indicam que para a ocupação de regiões já alteradas por ações antrópicas é necessário caracterizar solos e subsolos, via diversas análises geoquímicas e geofísicas, associadas à interpretação da análise histórica da ocupação. E o mesmo pode ser dito sobre a ocupação de relevos antropogênicos, pois como seu material de formação é misto, ou seja, de fontes e origens distintas, sua estabilidade pode ser questionável.

O caso do Morro do Bumba, em Niterói (RJ), que se tratava de um lixão ocupado (REZENDE, 2016), exemplifica que os sedimentos antropogênicos (gárbicos) inconsolidados são facilmente movimentados, além do fato da desconectividade entre este material e o substrato permitirem tanto o desencadeamento de movimentos de massa, como de processos erosivos.

A fim de avaliar áreas sob efeito da ocupação e interferência humana (direta e indireta) é preciso compreender a dinâmica natural do meio biofísico, como os aspectos referentes ao relevo e ao solo, em especial, os processos hidrológicos envolvidos e associá-los às atividades antropogênicas que se superpõem. Tal compreensão e análise possibilita a redução da vulnerabilidade ambiental, por consequência, o risco de acidentes e mortes, além de impactos ao meio físico.

6 CONCLUSÕES

A tese com seus resultados e discussões possibilita novos estudos voltados às formas de relevo antropogênico, aos estudos da geomorfologia antropogênica, à geomorfologia urbana e suas dinâmicas, processos e formas resultantes, além de estudos sobre solos antropogênicos e tecnogênicos. Ressalta-se que a ciência geomorfológica não trabalha apenas com as formas de relevo, para além disso, procura entender os mecanismos e dinâmicas envolvidos em um sistema, considerando não só as mudanças já cristalizadas, como os novos processos e agentes que se manifestam.

Por meio da abordagem retrospectiva evolutiva da paisagem, associada à análise geomorfológica, observou-se como o ser humano, ou a sociedade de forma geral, é um agente geomorfológico com mesmo grau de relevância e importância que outros agentes exógenos. A humanidade consegue agir em um tempo mais curto, cujas ações do homem agem rapidamente (dias, meses e anos), enquanto os agentes naturais funcionam e regem a evolução do relevo no tempo geológico (séculos e milênios), e muitas vezes, ambos interagem conjuntamente.

As modificações pelas quais a bacia Colônia Antônio Aleixo foi submetida no decorrer de sua história, em especial dos últimos 20 anos (2000 a 2020), que compreendem o período de análise desta pesquisa, alteraram as dinâmicas naturais, anômalo pelo aumento da impermeabilização do solo, intensificação de fluxos superficiais. Nisso se enquadram a quantidade de voçorocas que foram cadastradas nesse intervalo, contabilizando 66 incisões, entre ativas e inativas, além dos diversos depósitos tecnogênicos e as novas formas de relevo.

Para tanto, constatou-se que grande parte dessas incisões passaram por algum processo de contenção, especialmente nas áreas urbanizadas densamente habitadas, como os bairros Nova Vitória e Gilberto Mestrinho, à montante da bacia. E, em alguns casos, as voçorocas se desenvolveram a ponto de aglutinarem-se, como observado no bairro Distrito Industrial, ambos fatores contribuíram para que a quantidade de voçorocas fosse reduzida para 26, ainda que a área das voçorocas na bacia não tenha reduzido tanto.

Para melhor entendimento da urbanização como agente geomorfológico e as áreas em que exerceu alterações, aqui, esta é entendida como um fator exógeno antrópico, assim a relação dos estágios de urbanização e seus impactos na dinâmica hidrogeomorfológica foi possível, por meio da sistematização dos mapas de cobertura e uso da terra de 2000 a 2018, associados ao mapa de estágio de urbanização, adaptado para a bacia referente ao ano de 2020. Dessa forma foi observado as mudanças das dinâmicas naturais do relevo e que foram cristalizadas na paisagem, via novas formas e com dinâmicas próprias.

Ao se considerar que a bacia teve diversos momentos de ocupação, nos quais o primeiro remete à jusante no começo do século XX, seguida da urbanização a montante nas décadas de 1970-1990, e por fim, o processo de expansão sobre o curso médio da bacia se deu, em torno dos anos 2000. Houve vários momentos de ocupação com formas e temporalidades distintas, havendo coexistência entre zonas em processo de urbanização margeadas por não-urbanizadas.

No que concerne aos anos de 2001 a 2018, a área urbana cresceu de 25,21% para 40,08%, sendo as áreas que passaram por algum tipo de intervenção antrópica totalizam e saíram de 46,75% para 53,44%, nos mesmos anos. Isso ajuda na compreensão do quanto a bacia passou por alterações, o que inclui a perda da área vegetada, em quantidade e em qualidade, e isso influencia diretamente na redução ou aceleração do processo erosivo. Pois, ao se observar os mapas, as manchas de vegetação reduzem de tamanho e variam de posição entre os anos analisados, isso revela que não houve uma recuperação efetiva da vegetação em áreas de solo exposto, e que esta cobertura vegetal tende a ser estratos mais baixos, como herbáceo a arbustivos.

Nesse sentido, não se instituiu um período histórico para identificação das alterações na geomorfologia original, pois a bacia passou e passa por momentos distintos de urbanização. Observou-se que as principais mudanças no relevo e de suas dinâmicas se dão por estágios específicos de urbanização, com alterações nas dinâmicas hidrogeomorfológicas e pedológicas a depender das ações no processo de urbanização. Tais como terraplanagem, decapitação de perfis de solo, criação de redes de drenagem artificiais para águas servidas e pluviais, criação de depósitos tecnogênicos e novas formas de relevo, como tais mudanças afetam a dinâmica erosiva.

Assim, a determinação das propriedades físicas, químicas, morfológicas, biológicas e hidrológicas do solo, nos pontos analisados, auxiliam no entendimento da susceptibilidade de cada um deles frente ao processo erosivo.

O ponto 1 representa o que seria o estágio pré-urbano, com características geomorfológicas e pedológicas naturais, ou o mais próximo disso em ambiente urbano. Com a análise das propriedades do solo supracitadas observa-se que este tem resistência aos processos erosivos, e quando associados à cobertura vegetal e orgânica do solo (horizonte O) superior a 3 cm de profundidade, o desencadeamento dos processos erosivos reduz drasticamente.

O ponto 2, área de solo exposto, sem vegetação, sem as camadas pedológicas O e A, com o horizonte B exposto tem características que representam o estágio 1 de urbanização, que se configura como zoneamento e loteamento das áreas desmatadas. Com base nas características de solo observa-se frações mais erodíveis, silte e as areias fina e muito fina, 22,98

% para média do ponto. Outro fator importante são os agregados que aparecem em menor quantidade e são instáveis.

E por ser um ponto de horizonte B, seu nível de resistência à penetração é maior, o que dificulta a infiltração e acentua o escoamento superficial, que com base nas características assim são mais facilmente erodidas.

As áreas com essas características de uso da terra têm maior potencial de desencadear processos erosivos, e quando as feições do tipo voçoroca se desenvolvem podem crescer rapidamente, como foi observado pelo crescimento das incisões 3 e 4 que foram monitoradas, além do histórico deste ponto, em específico, ter tido 5 voçorocas simultaneamente, das quais 3 cresceram e se aglutinaram.

O ponto 3, local que houve remoção intensa de material, com um solo decapitado remanescendo o horizonte C, esta realidade sendo um solo exposto é um exemplo extremo de um estágio 2 de urbanização, nele é possível notar solo altamente arenoso, com 24,59% de silte com areias fina e muito fina, baixos índices de matéria orgânica, por consequência uma camada pedológica que se exposta, tem alta erodibilidade. Além disso, este ponto apresentou as maiores taxas de resistência à penetração, o que significa que há baixa infiltração e propensão ao escoamento superficial, isso é exemplificado pela presença de uma voçoroca na área e seu crescimento contínuo.

No que concerne aos pontos 2 e 3, é importante mencionar a presença do Al^{+} que além de tóxico para as plantas, dificulta o desenvolvimento destas em áreas de solo exposto, assim a possibilidade de recuperação natural é baixa, o que por sua vez pode ser um fator que acentua o desencadeamento de erosão e de feições do tipo voçoroca.

O ΔpH negativo, com valores médios de -0,77 e -0,83 para os pontos 2 e 3, respectivamente, propicia a formação de crosta de alteração laterítica do solo, e por consequência o escoamento superficial (difuso e concentrado). Sendo mais grave quando há grande áreas de solo exposto, na qual a formação de ravinas e voçorocas é inevitável. O que reitera que nos **estágios 1 e 2** além da redução dos componentes do ciclo hidrológico, há a intensificação do escoamento em detrimento da infiltração, em especial, devido a estas características na bacia Colônia Antônio Aleixo.

As coletas de solo demonstram as realidades pedológicas do que são os **estágios 0, 1 e 2** de urbanização, visto que o terceiro estágio é marcado pela impermeabilização do solo. No ponto 1 de coleta de solo (estágio 0) não há erosão aparente, tampouco feições erosivas. No ponto 2 (estágio 1) as voçorocas tiveram crescimento em sua largura de 11,34% e de área em 11,55% para a voçoroca 3, e a voçoroca 4 teve área reduzida, todavia o processo erosivo foi

intenso a ponto de suas paredes colapsarem. Enquanto, no ponto 3 (estágio 2) a voçoroca 1 teve taxa de crescimento de sua largura de 2,9% e de sua área em 7,30%, além da presença de outras feições erosivas como pedestais e microrravinas.

O horizonte B latossólico e C exposto, respectivamente são altamente sensíveis à erosão, potencializando a formação de voçorocas, sendo assim quanto mais durar o **estágio 1 e 2** de urbanização, maior as chances de voçorocas de grande porte se desenvolverem. Nesse sentido, é importante salientar que todas as incisões atingiram o horizonte C, e no caso das voçorocas 03 e 04 sua expansão ocorreu, em especial, nessa camada de solo mais profunda.

Um fator importante e que foi observado foi sobre as zonas de contato entre duas áreas de estágios de urbanização distintos, e isso ficou claro pela presença de uma voçoroca, em meio uma porção da bacia que é florestada. Cujas formações da incisão se deve às águas pluviais e servidas direcionadas por uma canaleta mal dimensionada, da pista à encosta, que com o tempo desencadeou uma voçoroca grande o suficiente para ser vista por sobrevoo de drone e imagens do Google Earth. Contudo, isso é uma dinâmica recorrente na bacia, em especial, no que tange às áreas de contato entre **estágio 1 e 2** com **estágio 3**, é o caso das voçorocas monitoradas que têm suas origens e direção de crescimento associadas às pistas e vias de acesso.

Sobre as voçorocas faz-se necessário um adendo da quantidade de material erodido por estas, cujo volume erodido das quatro incisões monitoradas é de 247.836,93 m³ ou 185.512,8 toneladas, apenas considerando as voçorocas acompanhadas, num universo que, até 2021, apresentava 26 voçorocas ativas e outras 40 que foram contidas ou obliteradas, na bacia Colônia Antônio Aleixo. O volume erodido por estas incisões durante todo o processo de urbanização da bacia subsidia a explicar a quantidade de igarapés assoreados da rede de drenagem. Por sua vez, esses canais assoreados originam planícies que são ocupadas por moradores, mas que pela própria natureza deste relevo local e inconsolidação desse material sedimentar erodido pode haver reativação da rede de drenagem, via formação de voçorocas, a se considerar rio como nível de base local original.

Ainda sobre a rede hidrográfica, apesar do impacto mais visível ser o assoreamento de canais, necessita-se comentar o dano ambiental do uso de voçorocas como lixões, visto que na análise de nutrientes desse sedimento foram encontrados valores de 0,25 mg/kg, 19,76 mg/kg e 19,79 mg/kg para Nitrogênio, Fósforo e Potássio, respectivamente, que devido à composição altamente arenosa (83,55%) desse material são lixiviados para rede drenagem, que por sua vez causa eutrofização da rede de hidrográfica. Além disso ainda há a presença de Zinco, Cobre e Cromo no material com valores de 131,1 mg/kg, 4,0 mg/kg 12,3 mg/kg, que também podem

ser transportados por lixiviação, assim como podem percolar no sedimento mais poroso, tendo efeito tanto nos rios quanto no lençol freático.

O uso das voçorocas como local de rejeito é algo a ser analisado mais profundamente, pois além da questão do mau descarte de resíduos sólidos, em seu interior, ser uma questão sanitária como vetor de doenças num aspecto geomorfológico, pois sacos de lixo intensificam o processo de retrabalhamento e crescimento das voçorocas, assim como os impactos advindos do excesso de nutrientes no sistema, metais pesados e outros químicos e fármacos, como hormônios presentes nesse tipo de deposição.

Outra questão importante sobre o fator antrópico na bacia são as novas formas de relevo feitas pelo homem, que nesse caso, também apresentam susceptibilidades intrínsecas. Como o patamar antropogênico, forma recorrente na bacia, sendo esta uma forma de denudação, via agente antrópico, resultantes do processo de remoção de solo por terraplanagem, que além do solo exposto deixam evidenciadas camadas pedológicas de mais fácil erosão, e nela ocorreram o desenvolvimento de pelo menos duas incisões, a monitorada (voçoroca 01) neste trabalho e uma que foi obliterada pela ação humana.

Há as encostas antropogênicas, que pela falta de coesão do material que as formam, que são os depósitos tecnogênicos no interior das voçorocas, intensificam o processo de crescimento das incisões, ou no caso das que estão inativas possibilita a reativação das incisões, ainda mais se foram contidas com uso de rejeitos. Em ambos os casos estes materiais de origem antropogênica propiciam, além da poluição dos cursos hídricos e lençol freático, causam potenciais danos à saúde da população adjacente.

Além de formas como terraços antropogênicos e planícies, em locais de canais parcial ou completamente alterados, apesar de nestes dois casos não terem sido encontradas voçorocas, entende-se que há susceptibilidade ao processo erosivo pela descontinuidade entre os materiais que compõem as formas e do local em que foram instaladas. Além de no caso dos canais fluviais, o material pode ser erodido até o nível de base original.

Trazer o fator antrópico como agente exógeno é extremamente importante, da mesma forma que compreender que a urbanização, além de ser um desdobramento deste, pode ser considerada como um agente em si, uma vez que as ações realizadas no seu processo, além de criar morfologias antropogênicas, cria novas dinâmicas geomorfológicas e intensifica as já existentes, tal como o processo erosivo, e conseqüentemente maior número de feições erosivas, assim como voçorocas de maior dimensão.

Essa discussão é importante, ainda mais no contexto do urbano amazônico que apresenta uma geomorfologia diferenciada, regime pluviométrico intenso e processo de ocupação do território “recente” quando comparado às outras regiões do país.

Assim, defende-se a tese de que a geomorfologia original da bacia Colônia Antônio Aleixo é o fator determinante para o desenvolvimento de voçorocas, contudo, a forma de ocupação, o estágio de urbanização, como as novas formas de relevo são fatores que condicionam a quantidade (e dimensões) dessas incisões, e conseqüentemente definem sua vulnerabilidade.

E esta mostrou-se comprovada, uma vez que a quantidade de voçorocas (26 ativas e 40 inativas) e seu desenvolvimento na bacia é consequência direta dos aspectos geomorfológicos associados aos estágios de urbanização. Pois, as características geomorfológicas que naturalmente possibilitam o desencadeamento de processos erosivos como o platô altamente dissecado e declividade acentuadas, ao serem associadas aos **estágios 1 e 2** de urbanização, por tratarem do período referente ao desmatamento, terraplanagem e solo exposto são intrinsecamente um gatilho à erosão e processos de voçorocamento. Em especial, quando acompanhados das propriedades do solo, como quantidade de silte e areia (fina e muito fina), propensão a formação de crostas de alteração lateríticas que reduzem a infiltração e a presença de Al^+ que dificultam a retomada de vegetação, esses são fatores que agravam a vulnerabilidade erosiva.

Uma vez que o desenvolvimento das voçorocas está associado aos **estágios 1 e 2** de urbanização, que se caracteriza pelo solo exposto e início de loteamento, logo quanto mais longo for esse processo, maiores as chances do desenvolvimento de feições erosivas, ainda que a presença de incisões possa ser encontrada, em partes da bacia que estão no **estágio 3**. E quando se trata de expansão urbana, associada às habitações, o processo tende a ser mais ágil, enquanto que em áreas, cuja destinação é industrial, ou de especulação imobiliária, há grandes extensões de solos expostos, como visto no bairro Distrito Industrial II, o qual apresenta o maior número de voçorocas e também as de maiores dimensões, pois houve no seu processo de criação grandes áreas que foram desmatadas e terraplanadas e que ficaram anos com o solo exposto às intempéries, se comparadas a de outros bairros.

Nesse sentido, ao se observar os dados analisados, tais como: 1) o processo de cobertura e uso da terra da bacia; 2) os estágios de urbanização e como cada um altera os processos pedo-geomorfológicos e hidrológicos, além; 3) das novas formas de relevo que trazem consigo novas dinâmicas pedo-geomorfológicas e hidrológicas; é possível indicar que tais fatores alteram os

processos naturais de evolução do relevo. Não só intensificando processos erosivos, como possibilitando que as feições resultantes sejam de proporções maiores.

Algumas considerações, acerca da complexidade das relações entre as dinâmicas pedo-geomorfológicas, a cobertura e uso da terra e estágios de urbanização carecem ser destacadas, como a problemática de remoção de camadas pedológicas, compactação do solo, via maquinário, além da água direcionadas às encostas pelas vias nos interflúvios. Pois, ruas e avenidas foram traçadas em regiões de quebra de declive, ou seja, as águas servidas e pluviais quando direcionadas às canaletas, em vez de perder energia cinética, ganham e tem potencial erosivo maior ao entrarem em contato com as encostas. O que é corroborado pela disposição das voçorocas nas imediações das pistas.

Ainda que não seja uso inapropriado do ponto de vista legal, é necessário no contexto urbano, e mister que a legislação ambiental vigente seja seguida e que haja fiscalização, a fim de dirimir maiores impactos ambientais. Ressalta-se que quanto mais longo for estágio de urbanização que compreende os processos de desmatamento e solo exposto, por exemplo, maiores as chances dos processos erosivos se desencadearem, assim como a formação de voçorocas de grande porte.

De forma geral, a tese traz em si tanto o pioneirismo, quanto a inovação na ciência geográfica e geomorfológica. A primeira se traduz no estudo voltado à dinâmica humana com suas novas formas de relevo e sua influência no processo erosivo no contexto do urbano amazônico. Enquanto a segunda vem por meio da hipótese e o produto final da tese que é a proposta de classificação do relevo antropogênico, considerando a taxonomia, os processos de formação e a vulnerabilidade erosiva, podendo ser aplicada a ambientes urbanos e periurbanos, e algumas casos ao meio rural.

Assim, constatou-se que a abordagem, a metodologia e as técnicas empregadas na pesquisa foram satisfatórias na compreensão do fator humano como agente modelador do relevo, em específico, ao se identificar **como** e **quais** processos morfogênicos e pedogênicos são influenciados durante a urbanização. Considerando uma visão integrada entre a cobertura, uso e ocupação da terra e suas características antes, durante e após o processo de urbanização, e sua vulnerabilidade, em maior ou menor grau, aos processos erosivos.

7 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. A cidade de Manaus (primeiros estudos). **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 15, p.18-45, 1953.

AB'SABER. A.N. As boçorocas de Franca. **Revista de FFF**, São Paulo, n. 2, p. 5-27, 1968.

ABDON, M. M. **Os impactos ambientais no meio físico – erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

ABDULKAREEM, J. H., *et al.* An overview of soil erosion modelling. **Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment**, v.13, n.1, p. 206-215, 2021.

ABREU, N.R.P.; VIEIRA, A. F. G.; FROTA FILHO, A. B. A relação do controle estrutural com processos de voçorocamentos em Manaus (AM): Uma análise preliminar. In: SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2012.

ADLER, F. R.; TANNER, C. J. **Ecosistemas urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

AGUIAR, F. E. O. **As alterações climáticas em Manaus no século XX**. 1995. 182 f. Dissertação (Mestrado em Geoecologia) - Instituto de Geociências: Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1995.

ALBUQUERQUE, M. G.; ALVES, D. C. L.; ESPINOZA, J. M. A. Uso do sensoriamento remoto e de veículos aéreos não tripulados no monitoramento do processo erosivo no litoral do extremo Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e Congresso Nacional de Geografia Física, 17., 2017, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Unicamp, 2017.

ALVES, J. A. ; OLIVEIRA, J. A. A política de isolamento para a hanseníase e a saúde pública: a geografia do isolamento em Manaus - AM. In: EGAL - Encuentro de Geógrafos de America Latina, 13., 2011, San Jose. **Anais[...]**. San Jose: Universidad Nacional Costa Rica, 2011.

AMARAL, R.; ROSS, J. L. S. A classificação taxonômica do relevo como um instrumento de gestão territorial – uma aplicação ao Parque Estadual do Morro do Diabo, município de

Teodoro Sampaio (SP). In: SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006, Goiânia. **Anais** [...]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2006.

ANICETO, K. C. P.; HORBE, A. M. C. Solos urbanos formados pelo acúmulo de resíduos em Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 135-148, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5892**: norma para datar. Rio de Janeiro, 2019. 4 p.

_____. **NBR 6022**: Informação e documentação: artigo em publicação periódica científica impressa: apresentação. Rio de Janeiro, 2018. 8 p.

_____. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2018. 68 p.

_____. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

_____. **NBR 6033**: ordem alfabética. Rio de Janeiro, 1989 a. 8 p.

_____. **NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

_____. **NBR 6028**: informação e documentação: resumos: apresentação. Rio de Janeiro, 2021. 3 p.

_____. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002. 7p.

_____. **NBR 12225**: informação e documentação: lombada: apresentação. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

_____. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011. 11 p.

AUGUSTIN, C. H. R. R. ; ARANHA, P. R. A. Voçorocas em Gouveia, MG: Características e Processos Associados. **Geonomos**, v. 14,n. 2, p. 75-86, 2006.

BACCARO, F. B. *et al.* **Reserva Ducke**: A biodiversidade amazônica através de uma grade. Manaus: Editora INPA, 2008. 166p.

BARBOSA, A. J. **Voçorocas e a produção de sedimentos na bacia da Colônia Antônio Aleixo em Manaus (AM)**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas e Letras, Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2013.

BARBOSA, T.S.; FURRIER, M. A geomorfologia antropogênica e a relação uso da terra com o risco geológico no município de João Pessoa–Pb. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017.

BAUMBACH, F. A. *et al.* Identificação e análise de depósitos tecnogênicos no perímetro urbano de Pelotas (Rs). **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v.18, n. 1 p.1-25, 2020.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 7. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010. 355 p.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 3., 1985, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: ABGE/ADEA, 1985.

BOARDMAN, J. The value of Google Earth™ for erosion mapping. **Catena**, v. 143, p. 123-127, 2016.

BOHRER, C. B. DE A.; GONÇALVES, L. M. C. Vegetação. **Geografia do Brasil: Região Norte**. Rio de Janeiro, v. 3, p.137-168, 1991.

BOOTH, D. B.; HENSHAW, P. C. Rates of channel erosion in small urban streams. In: **Land use and watersheds: Human influence on hydrology and geomorphology in urban and forest areas**, 2001, p. 17–38.

BOTELHO, R. G. M.; ROSSATO, M. S. Erosão em áreas urbanas no Brasil: formas de ocorrência e fatores agravantes. In: XIII Encontro Nacional de Geógrafos, 13., 2002, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: 2002. 1 CD-ROM.

BOTELHO, R. G. M.. Enchentes em áreas urbanas no Brasil. In: Seminário A Questão Ambiental Urbana: expectativas e perspectivas, 2004, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: 2004.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: Guerra, A.J.T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro :Bertrand Brasil, 2011, p. 71-115.

BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física No Brasil** .Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D. D. DA. **Infiltração da Água No Solo**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2003. 98p.

BURGO, P. C. F. *et al.* Problemáticas da descaracterização da identidade dos resíduos de construção e demolição. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais, 2., 2002. Santos. **Anais [...]**. Santos: Museu de Pesca, 2002.

CAMARGO, A. A. B. DE. **Avaliação e quantificação da contribuição de uma voçoroca para o assoreamento do Ribeirão das Cruzes, tributário da represa de Três Irmãos**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade De São Paulo. São Paulo. 2012.

CANARACHE, A. PENETR—A Generalized Semi-Empirical Model Estimating Soil Resistance to Penetration. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1-2, p. 51-70, 1990.

CARLOS, A. F. A. A metrópole de São Paulo no contexto da urbanização contemporânea. **Estudos Avançados**, v. 23, p. 313-316, 2009.

CARVALHO, J. B. DE. **Desmatamentos, Grilagens e Conflitos Agrários no Amazonas**. Manaus: Editora Valer – Governo do Estado do Amazonas.

CARVALHO, J. S. **Caracterização hidrogeológica da região a norte da cidade de Manaus, com base em informações geofísicas (resistividade elétrica), geológicas e geomorfológicas**. 2012. 157 f. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Coordenação de Pós Graduação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

CARVALHO, J. S.; TOMASELLA, J. Aspectos morfoestruturais do relevo na região norte da cidade de manaus e suas influências na dinâmica do aquífero Alter do Chão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, 2014.

CASSETI, VALTER. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO, I. E. Política pública e conflito no espaço urbano. Disputas da patrimonialização no Rio De Janeiro. **Revista GEOgraphia**, v. 18, p. 10-25, 2016.

CASTRO, I. E. . Entre a política e a nova agenda da geografia. **Revista Continentes** , v. 7, p. 9-35, 2015.

CASTRO FILHO, C. D.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CASTRO, A.O.C.; DIAS, L. R. Mudanças geomorfológicas e impactos associados provocados pela urbanização na bacia hidrográfica do Rio das Pedras - Rio De Janeiro. In: SINAGEO: Simpósio Nacional De Geomorfologia, 12., 2018, Crato. **Anais [...]**. Crato: 2018.

CELARINO, A. L. S.; LADEIRA, F. S. B. Análise granulométrica e relação solo-relevo-material de origem de uma toposseqüência na estação ecológica de Jataí, Luis Antonio - Sp. In: Simpósio Nacional De Geomorfologia/I Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 7., 2008, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: 2008.

CESAR, R. *et al.* Ecotoxicidade e biodisponibilidade de metais em solos impactados por rejeitos industriais em Queimados, Rj, Brasil. **Geociências**, v. 32, n. 4, p. 600-610. 2013.

CESAR, R. G. *et al.* Disposição de sedimentos de dragagem em solos tropicais: avaliação da ecotoxicidade com base em bioensaios com alface e de bioacumulação de metais com oligoquetas edáficos. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, p. 79-88, 2014.

CESAR, R. *et al.* Ecotoxicological assessment of a dredged sediment using bioassays with three species of soil invertebrates. **Ecotoxicology**, v. 24, p. 414-423, 2015.

CESAR, R. *et al.* Proposta de um índice de risco ecológico para disposição sustentável de sedimentos de dragagem em latossolos e chernossolos. **Geociências**, v. 34, p. 275-285, 2015.

CESAR, R. *et al.* Bioensaios com oligoquetas edáficos para avaliação da eficácia do tratamento de resíduos de mineração de carvão em cenário de disposição terrestre. **Geociências**, v. 36, p. 793-800, 2017.

CESÁRIO, F. *et al.* **Estabilidade de agregados em água**: análise crítica e padronização. EMBRAPA, 2010.

CHAUVEL, A. Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos amarelos, distróficos, argilosos na borda do platô, na região de Manaus: Mecanismos da Gibbsitização. **Acta Amazonica**, v. 11, p. 227-245, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Revista Geomorfológicas**, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise De Sistemas Em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia** . São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 149p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 313p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA. A. J. T.; CUNHA, S. B DA. (Org.). **Geomorfologia: Uma atualização de conceitos e bases**. 15. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1994, p. 93-148.

COELHO NETTO, A. L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 46-60, 2005.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia.. In: GUERRA. A. J. T.; CUNHA, S. B DA. (Org.). **Geomorfologia: uma revisão de conceitos e bases**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2008, v. 1, p. 93-148.

COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Hidrologia de encosta a interface com a geomorfologia. In: GUERRA. A. J. T.; CUNHA, S. B DA. (Org.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 1995, v. 1, p. 103-138.

COHEN, J.C.P. **Um Estudo Observacional de Linhas de Instabilidade na Amazônia**. 1989. 154 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto De Pesquisas Espaciais. São José Dos Campos, 1989.

COOKE, R. U. *et al.* **Urban Geomorphology in Drylands**. New York: Oxford University Press, 1982. 324 p.

COSTA, D. P.; OLIVEIRA, J. A. . Conjuntos habitacionais e a expansão urbana de Manaus. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, p. 30-45, 2007.

COSTA, L. R. F. *et al.* Geomorfologia do nordeste setentrional brasileiro: Uma proposta de classificação geomorphology of the northern brazilian northeast: A classification proposal. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 21, n. 1, 2020.

COSTA, M.S.B.; PINTO, V.A.B.; SOARES, C. B. S. S. análise do desmatamento nas zonas leste, norte e oeste da área urbana de Manaus/Am. In: SIMGEO Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 4., 2012, Recife. **Anais [...]**. Recife: 2012. p. 01-09.

COSTA, S.L. **Caracterização de crostas em superfícies de solos em ambientes degradados em Manaus (Am):** Gênese e Evolução. 2014, 63 f. Relatório Final (Iniciação Científica). Manaus: DEGEO,UFAM, 2014.

COUTINHO, M. G. DA N. **Província mineral do Tapajós:** geologia, metalogenia e mapa previewal para ouro em SIG. Rio de Janeiro: CPRM, 2008, 375 p.

CROZIER, M. J.; Hardenbicker, U.; GOMEZ, B. Physical Landscapes In: GOMEZ, B.; JONES, J.P. **Research Methods in Geography**. Oxford: Blackwell Publishing., 2010, 459 p.

CSIMA, PÉTER. Urban development and anthropogenic geomorphology. In: SZABO, J.; DAVID, L.; LOCZY, D. (ed.). **Anthropogenic Geomorphology**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 179-187.

CSORBA, PÉTER. Anthropogenic geomorphology and landscape ecology. In: SZABO, J.; DAVID, L.; LOCZY, D. (ed.). **Anthropogenic Geomorphology**. Dordrecht: Springer, 2010.p. 39-52.

CUNHA, S. B. DA. Geomorfologia fluvial. In: Cunha, S. B. Da; Guerra, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia:** Exercícios, técnicas e aplicações. Rio De Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p. 157-189.

CUNHA, S. B.; Guerra, A. J. T. Degradação ambiental. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, E. S. B.(Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 3. ed. Rio De Janeiro: Bertrand Brasil, 2000, p. 337-379.

CURCIO, G.R.; LIMA, V.C.; GIAROLA, N.F.B. **Antropossolos:** Proposta de ordem (1ª Aproximação). Colombo: Embrapa Florestas, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/311308/1/doc101.pdf>. Acesso Em: 1 mar. 2014.

D'AGOSTINO, Luiz Fernando. **Praias de Barragens de Rejeitos de Mineração:** Características e Análise da Sedimentação. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DAMANEH, H. E. *et al.* **The Impact of Land Use and Land Cover Changes on Soil Erosion in Western Iran.** 2021

DAMAME, D. B.; LONGO, R. M.; DE OLIVEIRA, E. D. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 1, p.1-7, 2019.

DE QUEIROZ, M. S. Evidências de neotectônica na bacia hidrográfica do Mindu-Manaus–Amazonas. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 9, n. 18, p. 130-142, 2020.

DEMARCHI, J. C., PERUSI, M. C., & PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do ribeirão São Domingos, Santa Cruz do rio Pardo–SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n. 2, p. 7-29, 2011.

DIAGBOYA, P. N.; OLU-OWOLABI, B. I.; ADEBOWALE, K. O. Effects of time, soil organic matter, and iron oxides on the relative retention and redistribution of lead, cadmium, and copper on soils. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 13, p. 10331-10339, 2015.

DIAS, L. S. M.; CUNHA, S. B. mudanças nos canais fluviais da sub-bacia do Canal do Cunha (Rj): Intervenções antrópicas. **Revista Equador**, v. 6, n. 2, p. 23-43, 2018.

DIAS, M. A.; DE PAULA, E. V. Mapeamento de antropossolos: Estudo de caso no bairro Santa Felicidade (Curitiba/Paraná). **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**. v. 44, p. 212-230, 2018.

DOUGLAS, I. Urban Geomorphology. In: FOOKES, P. G.; LEE, E. M.; GRIFFITHS, J. S. **Geomorphology for Engineers**. Dunbeath: Whittles Publishing, 2005. p. 757-777.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasil). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

DREW, D. **Processos Interativos Homem-Meio Ambiente**. Bertrand Brasil, 2002. p. 224.

EVANS, R. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista empírico. In: KIRBBY, M. J., MORGAN, R. P. C. **Erosion de Suelos**. Españã: LUMASA. 1984. p.141- 164.

FACHIN, P. A.; GONÇALVES JUNIOR, E. V.; THOMAZ, E. L. Comparação entre dois modelos de agitador de yoder na avaliação da estabilidade de agregados de solo. **Revista Brasileira De Geografia Física**, v. 12, p. 697-704, 2019.

FERNANDES, M. J. dos S. **Analisar a erosividade da chuva em Manaus no período de 1922 a 2012**. 2014. 57 f. Relatório Final (Iniciação Científica) - DEGEO/UFAM, Manaus, p.2014.

FERNANDES, M. J. S. **Chuvas Extremas e seus Impactos Socioambientais no Espaço Urbano de Manaus (Am): 1986 a 2015**. 2017. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Filosofia, Ciências Humanas e Sociais, UFAM, Manaus, 2017.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L. The use of Doppler technology for suspended sediment discharge determination in the river Amazon. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49, n.1, p. 143-153, 2004.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para geomorfologia. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 31-71.

FRANÇA, J. P. **A Aplicação da Abordagem do Tecnógeno na Identificação e Classificação dos Terrenos e Depósitos Tecnogênicos no Ambiente Urbano de Guarapuava-PR**. 2016. 209 f. Tese (Doutorado em Geografia) – UNESP, São Paulo, 2016.

FRANZINELLI, E.; IGREJA, H. Ponta das Lajes e o Encontro Das Águas, AM - A formação alter do chão como moldura geológica do espetacular Encontro das Águas Manauara In: Winge, M. *et al.* (ed.). **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. 2011. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio054/sitio054.pdf>. Acesso em: 16 set. 2018.

FRECHIANI, J. M.; MARCHIORO, E. Evolução antropogênica do relevo em áreas de mineração do distrito de Itaoca, cachoeiro de Itapemirim (ES), Brasil. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 7, n. 1, 2017.

FROTA FILHO, A. B. **Movimentos de massa e voçorocamentos nas microbacias colônia Antônio Aleixo e Boa Vista (Manaus-AM)**. 2012. 62 f. Relatório Final (Iniciação Científica) – DEGEO, UFAM. Manaus:2012.

FROTA FILHO, A. B. **Análise da vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFAM, Manaus. 2016.

FROTA FILHO, A. B.; LOUZADA, C. O. **Ensino de geografia através do estudo de eventos naturais “extremos” e áreas de risco**. Colóquio Internacional de Educação Geográfica e do Seminário Ensinar Geografia na Contemporaneidade.1. Anais [...] Maceió, UFAL, v. 1, n. 1, p. 249-259, 2018.

FUJIMOTO, N. S. V. M.; GONÇALVES, F. S.; ZANCANARO, C. Caracterização das formas de relevo em degraus de abatimento nos municípios de Manoel Viana e São Francisco de Assis, região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, 2010.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management: Problems and Solutions**. Oxford: Oxford University Press, 2004.

FURLAN, A.; BONOTTO, D. M.; GUMIERE, S. J. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n.3, p.659-669, 2011.

GARCIA, P. M. B.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CASAGRANDE, P. B. Índice Geomorfológico como subsídio ao planejamento urbano. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, 2020.

GARCIA, P. M. B.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CASAGRANDE, P. B. Geomorphological index as support to urban planning. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, dec. 2019. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e19003>. Acesso em: 03 mar. 2021.

GARCIA, M. Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicology test methods for tropical regions. In: VLEK, P.L.G. *et al.*, (ed.). **Ecology and Development Series**, v. 19, Cuvillier Verlag Gottingen, 282 p. 2004.

GILL, J.; MALAMUD, B. D. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. **Earthscience Reviews**, v.166, p.246-269, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825216302227>. Acesso em 17 ,mar. 2020

GOLOSOV, V. Soil erosion and small river aggradation in Russia. In: ISCO Conference. 12., 2002.Beijing. **Proceedings** [...]. Beijing: 2002. p. 154-159.

GOODCHILD, M. Twenty years of progress: GIScience in 2010. **Journal of spatial information science**, n. 1, p. 3-20, 2010.

GOUDIE, A. **The Landforms of England and Wales**. Oxford: Basil Blackwell, 1990.

GOUDIE, A. "Human Influence in Geomorphology." **Geomorphology**, v. 7, n.1 p. 37-59, 1993.

GOUDIE, A. **Encyclopedia of Geomorphology**. 1. ed. Abingdon: Routledge, 2014.

GOUDIE, A. **The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present, and Future**. 7. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell. 2013.

GOUDIE, A.; VILES, H. **A Salt weathering hazard**. Wiley, 1997.

GOUVEIA, I. C. M.; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do Rio Tamanduateí – região metropolitana de São Paulo. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 257-283, abr. 2017. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/105342/132449>. Acesso em: 12 jul. 2018.

GOUVEIA, I. C. M. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: Aplicação da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo**. 2010. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, 2010.

GOUVEIA, I. C. M. C. ; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí - RMSP. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)** v. 21, p. 257-283, 2017.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: Cunha, S. B. Da; Guerra, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia: Exercícios, técnicas e aplicações**. Rio De Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, p. 139-155.

GUERRA, A. J. T. Degradação dos solos - conceitos e temas. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014, v. 1, p. 15-50.

GUERRA, A. J. T.; *et al.* Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. **Pedosphere**, v. 27, p. 27-41, 2017.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e planejamento ambiental. Conceitos e aplicações. **Revista de geografia**, Recife, v. 35, p. 265-282, 2018.

GUERRA, A.J.T. **Erosão dos solos e movimentos de massa: Abordagens geográficas**. 1. ed. Curitiba: CRV Editora, 2016. 222p.

GUERRA , A,J,T. GUERRA, A,T. **Novo dicionário geológico- geomorfológico**. 8 ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2010. 652 p.

GUERRA, A. J. T. ; MARÇAL, M. S. Processo de urbanização e mudanças na paisagem da cidade de Açailândia (Maranhão).In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da C. (Org.).

Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009, p. 275-303.

GUYOT, J. L. *et al.* Balanço hídrico da bacia do rio negro. Simpósio de recursos hídricos do cone Sul. 1., 1993, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: 1993

HALISKI, A. **Acidez do solo e toxicidade do alumínio em sistema plantio direto de longa duração**. 2018. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia– Área de concentração – Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

HART, M. G. **Geomorphology**: pure and applied. Routledge, 1986.

HENSELWSKY, F. *et al.* Anthropogenic relief changes in a long-lasting lignite mining area (“Ville”, Germany) derived from historic maps and digital elevation models. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 46, n. 9, p. 1725–1738, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/esp.5103>. Acesso em: 05 jun. 2021.

HILLS, R. C. The determination of the infiltration capacity of field soils using the cylinder infiltrometer. Norwich: Geo Abstracts, 1970.

HORBE, A. M. C.; HORBE, M.A.; SUGUIO, K. Contribuição ao estudo dos depósitos de areias brancas no nordeste do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.1, p. 41-50, 2003.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc America Bulletin**, v. 3, n. 56, 1945.

HORTON, R. E. Drainage-basin characteristics. **Eos, Transactions, American Geophysical Union**, v. 13, p. 350-361, 1932.

HUNT, H. Keith. Consumers and their Garbage in the Wide Open West. **ACR European Advances**, 1993.

IGREJA, H. L. S. **Aspectos do modelo neotectônico da placa Sul-Americana na província estrutural amazônica, Brasil**. 2000. 151 f. Tese (Concurso de professor titular) - Departamento de Geologia UFAM, Manaus. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Manual Técnico de Geomorfologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 178 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). Manual Técnico de Pedologia. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 428 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019

JESUS, M. R. G. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Cambuí no perímetro urbano de Campo Largo – PR**. 2004. 116 f. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2004.

JORGE, M.C.O. Geomorfologia urbana: conceitos, metodologias e teorias. In: In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 117-145.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; ROCHA, L.; NISHIYAMA, L. Qualidade das águas subterrâneas e superficiais numa voçoroca no município de Uberlândia-Mg em decorrência da disposição de resíduos sólidos urbanos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 16. 2010. São Paulo. **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo: 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22967> Acesso em: 25 fev. 2018.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte - MG, v. 5, n.1, p. 17-40, 1997.

KERÉNYI, A. Human Impact in a systems approach. In: SZABO, J.; DAVID, L.; LOCZY, D. (ed.). **Anthropogenic Geomorphology**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 13-24.

KIECKHÖFER, A. M.; TAKAHAMA C. T.; ROSSI, R. C. Gestão de resíduos sólidos urbanos de Marília-SP e região. **Revista Estudos**, v.13,n.13, p. 213-248,2009.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. Editora Agronômica Ceres: São Paulo, 1979. 262 p.

KIRKBY, M. J. El Problema. In: KIRBBY, M.J., MORGAN, R.P.C. (Org.). **Erosion de Suelos**. Mexido D.F.: LUMASA. p. 15-34. 1984.

LANDIN NETO , F. O.; GORAYEB, A.; PEREIRA FILHO, N.S. Análise das condições hidroclimáticas, hidrogeológicas e morfométricas da bacia hidrográfica do rio Guaribas, Ceará, Brasil: subsídios para a gestão ambiental local. **Boletim Campineiro de Geografia**, v.4, n .2, 2014.

LEAL, P. C. **Caracterização e interpretações genéticas de alguns solos da região de Manaus-AM**. 1996. 109 F. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1996.

LEITAO, S. C.; VIEIRA, A.F.S.G. Caracterização física de crostas em superfícies de solos degradados em Manaus (AM): uma abordagem preliminar. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 35-39, 2014.

LENSE, G. H. E. *et al.* Effect of spatial-temporal variation of land use and land cover on soil erosion. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 90-98. 2021.

LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. River channel patterns--braided, meandering and straight. **U.S. Geological Survey professional paper**, 282-B, p. 39-84. 1957. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/pp/0282b/report.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2018.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LÓCZY, D.; SÜTŐ, L. Human activity and geomorphology. In: Gregory, K. J.; Goudie, A. S. **The Sage Handbook of Geomorphology**. London: Sage Publications, 2011. p. 260-278.

LÓCZY, Dénes. Anthropogenic geomorphology in environmental management. I In: SZABO, J.; DAVID, L.; LOCZY, D. (ed.). **Anthropogenic Geomorphology**. Dordrecht: Springer, 2010.p. 25-37.,

LOUZADA, C. O. O rio comanda a vida: uma análise geocológica das paisagens do Arquipélago do Januário (município de Itacoatiara-AM). 2020. 264 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

LUCAS, Y. **System pedologiques en amazonie bresilienne equilibres, desequilibres et transformation**. 1988. 184 f. Tese (Doutorado em) -, L'Université De Poitiers - U.F.R. Sciences Fondamentales et Appliquees, Paris, 1989.

LUCAS Y. *et al.* Transição latossolos-podzóis sobre a formação barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 325-335, 1984.

MADARI, B. E. Procedimento para uma estimativa compartimentada do sequestro de carbono no solo. **Technical communication Embrapa**, v. 22, 2004.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D. Determinação do ano hidrológico e geoespacialização das chuvas dos períodos úmido e seco da sub-bacia 63. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. 16. 2013. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2013. v.1. p.5612-5619.

MARTIN, K. ST.; PAVLOVSKAYA, M. Secondary Data. In: GOMEZ, B.; JONES, J.P. **Research Methods in Geography**. Oxford: Blackwell Publishing, 2010, 459 p.

MASCARENHAS JUNIOR, T. A.; SARAIVA, J. M. B.; AGUIAR, F. E. O. Comparação entre a normal climatológica 1961-1990 e o período 1991-2007 para a precipitação na cidade de Manaus – AM. **Revista Brasileira De Climatologia**, v. 5, p. 165-176, 2009.

MEADE, R. H. *et al.* Transporte de sedimentos no rio Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 9, n. 3, p. 543-547, 1979.

MENDONÇA, F. A. **Geografia Física: Ciência humana?**. 8. ed. São Paulo: Contexto, 2011. 89p.

MENEZES, J. P. C., *et al.* F. C. D. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p.519-534, 2016.

MESQUITA, O. **La Belle Vitrine: Manaus entre dois tempos (1890-1900)**. Manaus: EDUA, 2009.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, p. 107-117, 1987.

MORGAN, R.P.C implicaciones. In: (Org.) KIRBBY, M.J., MORGAN, R.P.C. **Erosion de suelos**. Mexido D.F.: LUMASA. 1984.

MOREIRA, A. A. N. Relevo. In: IBGE. **Geografia do Brasil: região norte**. Rio de Janeiro: Ibge, 1991. 3 v.

MUGADE, U. R.; SAPKALE, J. B. Influence of aggradation and degradation on river channels: A review. **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 3, n. 6, p. 209-212, 2015.

MIYAZAKI, L. C. P. Depósitos tecnogênicos: Uma nova perspectiva de leitura geográfica. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, 2014.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 169-177, 2017.

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus – AM**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - ESALQ-USP. Piracicaba: 2005.

NIR, Dov. Man, **A Geomorphological Agent: An introduction to anthropic geomorphology**. Springer science & business media, 1983.

NUNES, J. O. R., *et al.* **A Influência dos Métodos Científicos na Geografia Física**. Terra Livre, v. 2, p. 119-130, 2006.

NUNES, J. O. R.; SILVA, É. C. N. Estudo geográfico dos depósitos tecnogênicos nos conjuntos habitacionais Jardim Humberto Salvador e Augusto de Paula na cidade de Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. **Revista Geográfica De América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1-13, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2603>. Acesso em: 27 jul. 2019.

OLIVEIRA FILHO, *et al.* Compactação de Solo Cultivado com Cana-de-Açúcar em Baía Formosa, Rio Grande do Norte. **Revista Ceres**, v. 63, n.5, p. 715-723, 2016.

OLIVEIRA, J. A. DE. **Manaus de 1920 a 1967**. A Cidade Doce Dura em Excesso. – Manaus: Editora Valer – Governo do Estado do Amazonas. Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2003.

OLIVEIRA, J. A. Espaço-tempo de Manaus, a natureza das águas na produção do espaço urbano. **Espaço e Cultura** (UERJ), v. 23, p. 33-41-33, 2008.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; MEDINA, B. FERNANDEZ. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 235-239, 1990.

OLIVEIRA, M.A.T. DE. Erosion disconformities and gully morphology: a threedimensional approach. In: **Catena: an interdisciplinary journal of soil science hydrology – geomorphology**. v. 16. W. Germany: Catena Verlag. p. 413- 423. 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. DA; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicação**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999. p.57-99.

OLIVEIRA, R.; B., J.; VEIGA, R.. Incorporação de agregados finos de vidro em argamassas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 21, p. 25-39, 2013.

OLIVEIRA, V. G., *et al.* Avaliação da transformação antropogênica de terreno público urbano no município de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 1, 2021.

PAULA, E. B. DE M. *et al.* **Manual para elaboração e normalização de dissertações e teses**. 6. ed. rev., atual. e ampl. Rio de Janeiro: SiBI, 2017. 102 p. (Série Manuais de Procedimentos, 5).

PASCHOAL, L. G.; SIMON, A. L. H.; DA CUNHA, C. M. L. Geomorfologia Antropogênica e sua Inserção em Pesquisas Brasileiras. **Geographia Meridionalis**, v. 1, n. 1, p. 95-126, 2015.

PASSOS, M. M. O GTP: Geossistema - Território - Paisagem. Um Novo Paradigma?. In: EGAL - Encuentro de Geógrafos de América Latina, 12., 2009. Montevidéo. **Anais [...]**. Montevidéo: 2009. v. 1. p. 246-272.

PEDRON, F. A, *et al.* Solos Urbanos. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 34, n. 6, p. 1647-1653, 2004.

PELOGGIA, A. U. G.; SILVA, É. C. N.; NUNES, J. O. R. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscapes as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, 2014.

PELOGGIA, A. U. G. Sobre a classificação, enquadramento estratigráfico e cartografiação dos solos e depósitos tecnogênicos. In: PELOGGIA, A. U. G. **Manual geotécnico 3: Estudos de geotécnica e geologia urbana (I)**. São Paulo: p. 35-50, 1999.

PELOGGIA, A. U. G. **O homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo**. São Paulo: Xamã, 1998.

PELOGGIA, A. U. G. O Problema estratigráfico dos depósitos tecnogênicos. In: **Congresso Da Associação Brasileira De Estudos Do Quaternário**. 2003.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 16, p. 24-31, 2011.

PELOGGIA, A. U. G. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. **Revista Brasileira De Geociências**, v. 27, n. 3, p. 257-268, 2017.

PENNINGTON, D. R. L. **Manaus e Liverpool : Uma ponte marítima centenária**. Manaus: Editora da Universidade Federal Do Amazonas, 2009. 318 p.

PEREIRA J. *et al.* Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 171-174, 2002.

PICA, A. *et al.* (2017). Contribution for an urban geomorphoheritage assessment method: proposal from three geomorphosites in Rome (Italy). **Quaestiones Geographicae**, v. 36, n.3, p. 21-36, 2017.

PINHEIRO, E.S. *et al.* Paisagem, estrutura e composição florística de um parque urbano em Manaus, Amazonas. **Rodriguésia**, v. 61, n. 3, p. 531- 549, 2010.

PINHEIRO, E. DA S.; MARQUES, J. P. C.; KUX, H. J. H. Modelo linear de mistura espectral e métricas da paisagem aplicado ao estudo do desflorestamento em Manaus, Amazonas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 16., Foz Do Iguaçu, 2013. **Anais [...]** Foz do Iguaçu: 2013.

POESEN, J.. Soil erosion in the anthropocene: Research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 1, p. 64–84. 2017.

PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI. C.E.M.; BIDONE. F. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. p. 805- 847.

REYNARD, E.; PICA, A.; CORATZA, P. Urban Geomorphological Heritage. An overview. **Quaestiones Geographicae**, v. 36, n. 3, p. 7-20, 2017.

REZENDE, O. R. Morro do Bumba 6 anos: revisitando a tragédia. Encontro Nacional de Geógrafos–A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia. 18. 2016. **Anais eletrônicos [...]**São Luís. Disponível em: http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1467816862_ARQUIVO_MorrodoBumba6anos.pdf. Acesso em: 18 abr. 2020

RIBEIRO, M. N. S. **De leprosário a bairro: reprodução social em espaços de segregação na Colônia Antonio Aleixo (Manaus-AM)**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo.

ROBBINS, P. F. Human-Environment Field Study. In: GOMEZ, B.; JONES, J.P. **Research Methods in Geography**. Oxford: Blackwell Publishing, 2010, 459 p.

RODRIGO-COMINO, J. *et al.* The contrasted impact of land abandonment on soil erosion in mediterranean agriculture fields. **Pedosphere**, v. 28, n. 4, p. 617-631, 2017.

RODRIGUES, C. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano. o exemplo das planícies fluviais na metrópole de São Paulo. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 2, p. 324-347, 2015.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 17, p. 101-111, 2011.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. 11. 2005. Anais [...] São Paulo.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. . Técnicas de hidrografia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Geografia: Práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Sarandi, 201, p. 9-528.

RODRIGUES, C. ; GOUVEIA, I. C. MOROZ. C. A importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido com exemplos em São Paulo. In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M. do C. O. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, p. 66-94.

RODRIGUEZ, J. M. M. ; SILVA, E. V. **Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. Fortaleza: Editora da UFC, 2010.

ROSS, J.L.S. Geomorfologia aplicada aos EIAs/Rimas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 372p.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M.; VIERA, B. C. Técnicas de Geomorfologia. In: Luis Antonio Bittar Venturi. (Org.). **Geografia: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula**. 1ªed.São Paulo: Editora Sarandi, 2011, v. 1, p. 29-54.

ROSSATO, M. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão urbana no brasil. **Revista Da Pós-Graduação Em Geografia**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 33-52, 2002.

ROSSATO, M. S. ; BOTELHO, R. G. M. . Erosão em áreas urbanas no brasil: situação e implicações. In: Encontro Nacional de Geógrafos,13., 2002, João Pessoa. **Anais eletrônicos** [...] João Pessoa: 2002. CD Rom.

RUBIRA, F.G.; DE MELO, G. do V.; DE OLIVEIRA, F. K. S. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 1, 2016.

RUHE, R. V. **Geomorphology**: geomorphic processes and surficial geology. Boston: Houghton Mifflin, 1975. 246 p.

SAENZ, J. A. **Impactos Ocasionados pela Mudança de Uso de Solo no Ciclo Hidrológico Utilizando o Modelo SWAT**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro Universitário do Norte, Manaus, 2016.

SALAR, S. G. Urban geomorphology of darbandikhan district using GIS & RS Iraqi Kurdistan Region. **Journal of Garmian University Conference Paper**, p. 301-319, 2017.

SANT'ANNA NETO, J. L. O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 8, 2011.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos**. 4 ed., Brasília: Embrapa. 376p. 2014.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro De Classificação De Solos**. 5 ed., Embrapa, Brasília – DF, 356 p., 2018.

SANTOS, H. G; ZARONI, M. J. Relação Site/Argila. **AGEITEC**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_56_2212200611552.html.

SALTON, J. C. *et al.* Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso Do Sul. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v. 32, n.1, p.11-21, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/nj79r8rWZhJm4YksSrQXfky/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2018.

SARGES,R. R.; SILVA, T. M.; RICCOMINI,C. Caracterização do relevo da região de Manaus, Amazônia Central. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 95-104, 2011.

SCHEIN, R. H. Cultural Landscapes In: GOMEZ, B.; JONES, J.P. **Research Methods in Geography**. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2010, 459 p.

SCHUMM, S. A. Geomorphic thresholds: the concept and its applications. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 4, n. 4, 485, 1979. Disponível em: http://www.blackwellpublishing.com/pdf/geomorphic_thresholds.pdf. Acesso em: 09 mar. 2019.

SCHUMM, S. A. The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perthamboi, New Jersey. **Bulletin of the Geological Society of America**. v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

SELBY, M. J. **Hillslope Materials & Processes**. New York: Oxford University Press, 1990.

SELBY, M.J. Hillslope sediment transport and deposition. In: PYE, K. (ed.). **Sediment transport and depositional processes**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994. p. 61-87.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 1. ed. São Carlos: RIMA, 2003. v. 1. 138p .

SILVA, A. M. *et al.* Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, A.S da. Solos urbanos. In: GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 43-69.

SILVA, C. A.; PEREZ FILHO, A. Geografia, turismo e análise sistêmica. In: VITTE, A. C. **Contribuições à história e à epistemologia da geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2007 , p. 253-290.

SILVA, C. L. **Análise da tectônica cenozoica da Região de Manaus e adjacências**. 2005. 309 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – UNESP, Rio Claro, 2005.

SILVA, W. T. de M *et al.* Levantamento da textura do solo e da relação Silte/Argila em regiões semiáridas do Nordeste. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 14, n. 4, p. 266-272, 2019.

SIMON, A. L. H. Influência do reservatório de Barra Bonita sobre a morfohidrografia da baixa bacia do Rio Piracicaba-SP: contribuições à geomorfologia antropogênica. 2010.150 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010.

SINGER, M.J., MUNNS, D.N. **Soils: An Introduction**. 5. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2002.

SINGER, M. J.; MUNNS, D. N. **Soils: an introduction**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, 2012.

SPELL, R. L.; JOHNSON, B. G. Anthropogenic alluvial sediments in North Carolina Piedmont gullies indicate swift geomorphic response to 18th century land-use practices. **Physical Geography**, v. 40, n. 6, p. 521-537, 2019.

STABILE, R.A.; VIEIRA, B. C. Análise do papel exercido pela topografia na distribuição das feições erosivas da bacia hidrográfica Água da Faca, Piratininga (SP), a partir de um modelo digital de elevação. In: Congresso de Geógrafos da América Latina, 12., 2009, Montevideu. **Anais [...]** Montevideu: 2009.

STERNBERG, H. O. A água e o homem na varzea do Careiro. Belém: MPEG. 1998. 289 P.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin Geological Society of America**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions, American Geophysical Union**, v.38, n. 6, p. 913-920, 1957.

STOW, D. A. Remote Sensing. In: GOMEZ, B.; JONES, J.P. **Research Methods in Geography**. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2010, 459 p.

SUERTEGARAY, D.M.A. Notas sobre epistemologia da geografia. **Cadernos Geográficos**, Santa Catarina, n.1, maio. 1999.

SUGUIU, K.; BIGARELLA, J.J. **Ambientes Fluviais**. Ed. da UFSC: Florianópolis, 1990.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2003. 400p.

SZABÓ, J.; DÁVID L.; LOCZY D. Anthropogenic Geomorphology: Subject and System. In: SZABO, J.; DAVID, L.; LOCZY, D. (ed.). **Anthropogenic Geomorphology: A guide to man-made landforms**. Dordrecht: Springer, 2010. p. 3-10.

TANAKA, L. M. D. S.; SATYAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. Diurnal variation of precipitation in Central Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 13, p. 3574-3584, nov. 2014.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. Brasília: Embrapa, 2017. 573 p.

THAKUR, V. K. Sediment management of Nathpa dam from heavy silt in river Satluj (India) preparing a one column paper with word for windows. In: TOURNIER, J. P.; BENNETT, T.; BIBEAU, J. **Sustainable and safe dams around the world**. CRC Press, 2019. p. 1327-1337.

THORNES, J.B.. Procesos erosivos de las corrientes de agua y sus controles espaciales y temporales: un punto de vista teórico. (Org.) KIRBBY, M.J., MORGAN, R.P.C. In: **Erosion de suelos**. Mexico D.F.: LUMASA. 1984.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p. 135-152, jun. 1997.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, out./dez. 2003. Disponível em:
http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 3 abr. 2010.

TUCCI, C. E. M.. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C.E.M; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: Simpósio Nacional de Controle da Erosão, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais [...]**. Presidente Prudente: 1998. p.128-130.

URBAN, M. A. In Defense of crappy landscapes (Core Tenet #1). In: **The Palgrave Handbook of Critical Physical Geography**. Palgrave Macmillan, 2018. p. 49-66.

URBAN, M. A. Conceptualizing anthropogenic change in fluvial systems: drainage development on the Upper Embarras River, Illinois. **The Professional Geographer**, v. 54, n. 2, p. 204-217, 2002.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, Y. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, v. 63, n. 2-3, p. 132-153, out. 2005. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816205000883?via%3Dihub>. Acesso em: 23 out. 2019.

VANZELA, L.; HERNANDEZ, F. B.; FRANCO, R. A. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, v.14, p. 55-64, 2010.

VIANA, J. F.de S. **Impactos das mudanças do uso da terra sobre o balanço hidrossedimentológico**: Bases para gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Pirapama. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

VIEIRA, A. F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas**: o caso de Manaus (Am). 1998. (Mestrado em Geografia)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

VIEIRA, A. F. G.; Albuquerque, A. R. Da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: Br-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). In: Simpósio Nacional de Geomorfologia e Encontro Sul- Americano de Geomorfologia ,5., 2004, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: UFSM, 1994. p. 50-65.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (Am)**: Principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. 2008. Tese (Doutorado em Geografia)- Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

YASMIN, S.; D'SOUZA, D. Effects of pesticides on the growth and reproduction of earthworm: A review. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2010, fev. 2010.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of The American Society of Agronomy**, v.28, p. 337-351, 1936.

WALSH, C. J. *et al.* The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, n. 3, p. 706-723, set. 2005.

WOLMAN, M. G. A Cycle of Sedimentation and Erosion In: Urban River channels. **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v. 49, n. 2-4, p. 385-395, 1967.

ZOLEZZI, G.; BEZZI, M. Urban gully erosion and the SDGs: A case study from the Koboko rural town of Uganda. **EGU General Assembly Conference Abstracts**, v. 19, p. 11687, abr. 2017.

APÊNDICES

Quadro 21: Parâmetros físicos avaliados nos pontos 1,2 e 3, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

	Hori	Prof. (cm)	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS																
			Granulometria (%)								Textura	Silte + Areia (Fina e Muito Fina) (%)	Relação silte/ argila	Densidade do solo/ aparente (g/cm ³)	Densidade real/ partículas (g/cm ³)	Poros. Total (%)	Estabilidade de agregados		
			Areia						Argila	Silte							DMP (mm)	DMG (mm)	IEA (%)
			MG	G	M	F	MF	Total											
Pont. 01	A	0-10	0,17	1,58	4,28	2,79	1,52	10,33	64,83	24,83	Clay (Argilosa)	29,14	0,39	1,13	2,27	50,21	2,56	2,19	93,34
		10-20	0,42	1,59	3,52	2,37	1,19	9,09	60,57	30,35		33,91	0,50	1,17	2,22	47,32	2,01	1,63	88,43
		20-30	0,60	1,89	3,34	2,21	1,18	9,21	63,93	26,86		30,25	0,42	1,18	2,44	51,63	-	-	-
		30-40	0,20	1,11	2,67	1,84	0,96	6,78	67,50	25,72		28,52	0,38	1,18	2,50	52,92	-	-	-
		40-50	0,13	1,07	2,58	1,75	0,95	6,47	73,23	20,30		23,00	0,28	1,15	2,50	53,97	-	-	-
		Média	0,30	1,45	3,28	2,19	1,16	8,38	66,01	25,61		28,96	0,39	1,13	2,27	51,21	2,33	1,91	90,88
Pont. 02	B	0-10	0,15	1,19	2,22	1,87	1,23	6,65	77,47	17,58	Clay (Argilosa a Muito argilosa)	18,98	0,23	1,19	2,22	46,54	1,18	0,85	72,32
		10-20	2,07	7,03	13,57	9,88	0,60	3,86	74,83	21,31		22,90	0,29	1,24	2,30	45,93	0,83	0,60	60,50
		20-30	1,58	7,45	14,27	10,25	0,55	3,91	76,77	19,32		20,90	0,25	1,19	2,11	43,45	-	-	-
		30-40	1,63	8,03	14,60	10,73	0,57	4,07	71,53	24,40		26,04	0,34	1,16	2,17	46,76	-	-	-
		40-50	1,78	7,05	14,07	10,52	0,54	3,88	71,63	24,49		26,08	0,34	1,16	2,13	46,76	-	-	-
		Média	1,44	6,15	11,74	8,65	0,70	4,47	74,45	21,42		22,98	0,29	1,19	2,22	45,89	1,01	0,72	66,41
Pont. 03	C	0-10	7,62	24,78	21,70	12,52	5,31	71,92	22,40	5,68	Sandy Clay Loam (Franco Argilo Arenosa)	23,51	0,25	1,47	2,13	40,41	2,07	1,55	85,05
		10-20	6,85	24,67	21,88	13,01	5,16	71,57	22,50	5,93		24,10	0,26	1,42	2,53	43,84	1,65	1,01	69,40
		20-30	5,36	22,65	22,34	13,22	5,69	69,25	23,97	6,78		25,69	0,28	1,40	2,50	43,85	-	-	-
		30-40	6,72	23,77	21,56	11,85	5,40	69,31	22,67	8,03		25,28	0,35	1,37	2,56	46,57	-	-	-
		40-50	7,76	25,12	22,01	12,61	5,59	73,08	20,77	6,15		24,35	0,30	1,38	2,41	42,81	-	-	-
		Média	6,86	24,20	21,90	12,64	5,43	71,03	22,46	6,51		24,59	0,29	1,47	2,13	43,50	1,86	1,28	77,23

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018

Quadro 22: Parâmetros químicos avaliados nos pontos 1,2 e 3, bacia Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM.

Loc.	Horiz.	Prof. (cm)	Características químicas												
			Macronutriente					Micronutriente							
			N	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe	Zn	Mn	C	M.O	PO ₄	Al ³⁺	Al ³⁺ +H
			g/Kg	mg/Kg				mg/Kg			g/Kg		mg/Kg		cmolc/Kg
Pont. 01	A														
		0-10	2,04	9,99	10,80	12,49	33,88	133,2	0,97	5,24	25,71	44,32	30,62	157,38	6,53
		10-20	1,59	6,02	7,40	7,30	22,09	107,2	0,91	2,95	20,19	34,80	18,47	143,89	6,08
		20-30	1,34	5,56	9,20	10,40	24,70	147,3	0,96	2,71	17,58	30,32	17,05	121,41	5,33
		30-40	0,84	1,26	5,20	4,10	7,10	70,7	0,67	1,00	8,83	15,23	3,88	98,92	3,08
		40-50	0,82	1,00	5,00	4,10	7,90	53,3	0,62	0,77	7,10	12,24	3,06	98,92	2,18
	Média	1,32	4,77	7,52	7,68	19,13	102,35	0,83	2,53	15,88	27,38	14,62	124,10	4,64	
Pont. 02	B														
		0-10	0,48	0,53	14,09	3,70	6,50	16,9	1,98	0,38	2,92	5,03	1,63	49,46	1,28
		10-20	0,38	0,37	4,70	2,10	2,70	10,3	0,31	0,25	1,50	2,58	1,12	67,45	2,10
		20-30	0,35	0,23	4,20	2,20	3,70	9,2	0,44	0,22	1,73	2,99	0,71	71,94	2,10
		30-40	0,41	0,33	3,60	2,60	5,50	11,3	0,27	0,22	2,52	4,35	1,02	62,95	4,73
		40-50	0,31	0,33	2,60	1,80	1,80	9,1	0,44	0,13	1,66	2,85	1,02	58,45	1,58
	Média	0,39	0,36	5,84	2,48	4,04	11,36	0,69	0,24	2,07	3,56	1,10	62,05	2,36	
Pont. 03	C														
		0-10	0,09	0,50	3,30	1,30	6,90	13,7	0,24	0,20	0,24	0,41	1,53	49,46	3,00
		10-20	0,08	0,40	1,90	1,20	2,00	17,4	0,45	0,12	0,08	0,14	1,22	26,98	0,38
		20-30	0,08	0,33	1,80	1,30	2,90	20,2	0,18	0,30	0,16	0,27	1,02	26,98	0,23
		30-40	0,09	0,23	1,90	1,20	2,80	32,4	0,76	0,36	0,24	0,41	0,71	22,48	0,15
		40-50	0,10	0,37	2,00	1,30	3,60	39,8	0,22	0,37	0,08	0,14	1,12	22,48	0,15
	Média	0,09	0,37	2,18	1,26	3,64	24,69	0,37	0,27	0,16	0,27	1,12	29,68	0,78	

Quadro 23: Parâmetros físicos avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.

	Características físicas													
	Granulometria (%)						Argila	Silte	Textura	Silte + Areia (Fina e Muito Fina) (%)	Relação silte/ argila	Densidad e do solo/ aparente (g/cm ³)	Densidad e real/ partículas (g/cm ³)	Porosid. Total (%)
	Areia													
	MG	G	M	F	MF	Total								
SL	1,87	7,66	19,17	18,35	4,62	51,67	37,84	10,26	<i>Sandy Clay</i> (Franco Argilo Arenosa)	33,22	0,27	1,27	2,44	48,02
SC	3,11	15,59	34,97	24,29	5,61	83,55	12,37	3,78	<i>Loamy Sand</i> (Areia Franca)	33,67	0,31	1,46	2,78	47,45
Razão SC/SL	1,662	2,034	1,824	1,323	1,213	1,618	0,326	0,368	-	1,014	1,13	1,15	1,12	0,99

Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.
 SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado
 Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018

Quadro 24: Parâmetros químicos (fertilidade do solo) avaliados nos sedimentos limpo e controle, na bacia Colônia Antônio Aleixo.

	Prof. (cm)	Características químicas													
		Macronutriente					Micronutriente						pH		
		N	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Fe	Zn	Mn	PO4	Al ³⁺	Al ³⁺ H	H ₂ O	KCl	ΔpH
		g/Kg	mg/Kg				mg/Kg			mg/Kg		cmolc/Kg			
SL	0-30	0,109	0,299	9,594	1,699	6,197	4,198	0,190	0,200	0,916	8,993	0,450	5,148	4,464	-0,684
SC	0-30	0,255	19,763	147,041	9,796	19,792	197,717	6,217	3,349	60,602	0,000	0,450	5,310	4,750	-0,560
Razão SC/SL	-	2,333	66,159	15,326	5,766	3,194	47,097	32,738	16,751	66,159	-	1,000	6,270	5,800	-0,470

SL = Sedimento limpo/ SC= Sedimento contaminado
Org: Armando Brito da Frota Filho, 2018.