

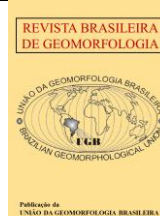


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, nº ESPECIAL (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2302>



Artigo de Pesquisa

# Avaliação das técnicas de monitoramento de voçorocas: o exemplo da Região Metropolitana de Manaus-AM, na região amazônica

## *Evaluation of Gully Monitoring Techniques: The Case of the Metropolitan Region of Manaus, Amazonas, in the Amazon Region*

Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira <sup>1</sup> e Armando Brito da Frota Filho <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Manaus-AM, Brasil. E-mail. [fabiovieira@ufam.edu.br](mailto:fabiovieira@ufam.edu.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9416-8765>

<sup>2</sup> Secretaria Municipal de Educação - SEMED, Manaus-AM, Brasil. E-mail. [armandofrota.filho@gmail.com](mailto:armandofrota.filho@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-7788>

Recebido: 31/10/2022; Aceito: 01/06/2023; Publicado: 03/07/2023

**Resumo:** Em Manaus, os estudos de voçorocas vêm sendo realizados desde meados da década de 90 do século XX em que vários deles utilizaram técnicas de monitoramento. Este artigo visa abordar e descrever as técnicas de monitoramento utilizadas nas voçorocas da Região Metropolitana de Manaus (RMM). A análise dos trabalhos permitiu constatar que os monitoramentos objetivaram, sobretudo, estimar as taxas de erosão e prever sua evolução e de compreender seus mecanismos, processos e as consequências ambientais e sociais decorrentes. E que as técnicas de monitoramento analisadas podem ser distribuídas em 4 grupos, quanto ao uso dos instrumentos: 1o) trena, bússola, ficha cadastral e croqui; 2o) poligonais planimétricas; 3o) imagens de satélite e do Google Earth; 4o) imagens de alta resolução espacial via veículos aéreos não tripulados (VANTS). Concluiu-se que a utilização de técnicas de monitoramento mais modernas, como o uso das imagens de VANTS, não necessariamente exclui o uso de procedimentos mais simples, como o uso das fichas cadastrais, trena e bússola e que a combinação de diferentes técnicas pode auxiliar no melhor detalhamento e caracterização morfométrica da voçoroca monitorada, assim como das feições secundárias envolvidas.

**Palavras-chave:** Monitoramento; Voçorocas; Vants; Feições de retrabalhamento; impactos ambientais

**Abstract:** In Manaus, studies on gullies have been conducted since the mid-1990s, and several of them have employed monitoring techniques. This article aims to address and describe the monitoring techniques used in the gullies of the Metropolitan Region of Manaus (MRM). Analysis of the studies revealed that the monitoring activities primarily aimed to estimate erosion rates, predict their evolution, understand their mechanisms and processes, and assess the resulting environmental and social consequences. The analyzed monitoring techniques can be grouped into four categories based on instrument usage: 1) tape measure, compass, survey forms, and sketches; 2) planimetric surveys; 3) satellite imagery and Google Earth; 4) high-resolution aerial imagery via unmanned aerial vehicles (UAVs). It was concluded that the use of more modern monitoring techniques, such as UAV imagery, does not necessarily exclude the use of simpler procedures, such as survey forms, tape measures, and compasses. Additionally, the combination of different techniques can contribute to a more detailed morphometric characterization of the monitored gully, as well as its associated secondary features.

**Keywords:** Monitoring; gullies; UAVs; Rework features; environmental impacts.

## 1. Introdução

A importância do monitoramento de voçorocas está em acompanhar a evolução da incisão e calcular as taxas de erosão, além de descrever os processos e mecanismos envolvidos no seu surgimento, apontar os impactos (ambientais, sociais, econômicos etc.), tanto em ambiente urbano como rural, pois a partir dessas informações é possível criar previsões de risco, estratégias de contenção e recuperação das áreas degradadas por esse tipo de feição erosiva.

Como exemplos de monitoramentos de voçorocas pode-se citar vários trabalhos, dentre os quais destacamos alguns, como o de Boardman (2016) que utilizou, como ferramenta, a plataforma do Google Earth, abrangendo imagens históricas desse tipo de feição localizadas no sul da Inglaterra, o qual demonstra como essa ferramenta é útil tanto para reconhecimento como no monitoramento, ainda que se tenha como aspecto negativo o intervalo amostral arbitrário entre as imagens. Borrelli et al. (2022) por sua vez, apresentam os resultados do monitoramento da ocorrência de voçorocas, realizado na União Europeia (UE) e no Reino Unido, relacionados aos dados do LUCAS Topsoil 2018 (levantamento de dados realizados a cada 3 anos, relativos aos solos dos países que compreendem a UE) e testado no sistema de monitoramento desse tipo de incisão erosiva, o qual se mostrou eficaz, principalmente para mapear voçorocas permanentes, mas menos eficaz para detectar a formação de voçorocas efêmeras.

No Brasil, a lista de trabalhos sobre monitoramento de voçorocas no Brasil é extensa, abrangendo técnicas que fazem uso de geotecnologias, envolvendo imagens de satélites (Landsat, QuickBird, Ikonos, GeoEye, WorldView entre outros), imagens da plataforma do Google Earth, imagens geradas por veículos aéreos não tripulados (VANTs) e até mesmo técnicas mais simples como o estaqueamento, as poligonais planimétricas, o levantamento por ordenada ou o simples uso da trena, bússola e ficha cadastral. Todavia, a intenção aqui é sintetizar os trabalhos executados no âmbito da região Norte do Brasil, especificamente aqueles ocorridos na região metropolitana de Manaus (área urbana e rural). Têm-se trabalhos mais clássicos, como o de Oliveira e Meis (1985) que em estudos de mapeamento e cadastramento de voçorocas em áreas de cabeceira de drenagem no planalto sudeste do Brasil, verificaram que estas incisões podem estar tanto conectadas quanto desconectadas da rede de drenagem. Destaca-se também o trabalho de Canil et al. (1995), que se refere ao mapeamento de feições erosivas lineares para o estado de São Paulo, interpretadas a partir de fotos aéreas, em que o total de incisões chegou a cerca de 6.700, as quais estão mais concentradas na região oeste do Estado de São Paulo, resultantes da ação combinada entre áreas suscetíveis à erosão e as formas inapropriadas de uso e ocupação do solo. Ainda para o Estado de São Paulo, porém, mais recente, pode-se citar o trabalho de Moreira et al. (2020) a respeito da ocorrência de feições erosivas lineares em Área de Proteção Permanente - APP, situada em Presidente Prudente-SP, onde se verificou que do total de 78 feições erosivas lineares, 48 (61,54%) estão inseridas em vertentes côncavas; 33 (42,3%) em relevo com declividade variando de 5 a 10%; e 55 (70,51%) encontram-se em áreas agrícolas.

Em Manaus, os primeiros monitoramentos ocorreram em meados dos anos 90 (século XX), quando foram cadastradas 40 voçorocas ativas (VIEIRA, 1998). Posteriormente, em 2008, o número de voçorocas cadastradas passou a 91 (VIEIRA, 2008). Soma-se a esses dados as voçorocas monitoradas nas rodovias pertencentes à RMM, como: na BR-174 em 2004, com 31 incisões (VIEIRA; ALBUQUERQUE, 2004) e atualizada para 21 voçorocas em 2017 (CARVALHO, 2017; CARVALHO; VIEIRA, 2020); na AM-352 em 2010 contabilizou-se 7 voçorocas (SANTOS, 2010; SILVA, 2013); em 2014 na AM-363 foram 9 voçorocas e na AM-330 foram 15 incisões desse tipo (SILVA, 2014); na AM-010 foram 15 voçorocas cadastradas em 2014 (DIRANE; VIEIRA, 2014, 2020; DIRANE, 2016). Em duas outras cidades pertencentes à RMM também se observou a ocorrência de voçorocas, em Rio Preto da Eva com 3 incisões em 2019 (LIMA, 2020, 2021; SILVA, 2021; VIEIRA et al., 2022) e na cidade de Iranduba, com 6 voçorocas em 2020 (SILVA, 2020; SILVA; VIEIRA, 2020).

Com base nos resultados das pesquisas realizadas desde 1998 até o presente momento, neste artigo busca-se fazer uma avaliação das técnicas utilizadas no monitoramento de voçorocas na RMM, destacando os pontos positivos e negativos de cada técnica e os seus principais resultados.

## 2. Descrição das técnicas de monitoramento de voçorocas

O escopo deste artigo é a análise e avaliação das técnicas utilizadas no monitoramento de voçorocas na RMM, realizados em trabalhos de 1998 a 2023. Para tanto, faz-se necessário uma breve descrição das principais técnicas utilizadas, com o intuito de subsidiar os resultados e discussões.

2.1. Trena, bússola, ficha cadastral e croqui

O uso de uma trena e uma bússola, juntamente com a representação da voçoroca e do ambiente do entorno podem ser suficientes para caracterizar esse tipo de incisão e trazer informações relevantes, como forma (Figura 1) e tipo (Figura 2). A trena serve para medir o comprimento da incisão e para se obter as médias de profundidades e larguras, as quais servirão para cálculos de área e volume médios erodidos. Os valores relativos aos volumes erodidos servem para caracterizar o tamanho da incisão (Quadro 1). A bússola, por sua vez, serve para se obter a orientação da voçoroca tanto do eixo principal como da cabeceira da incisão (ou cabeceiras). Com essas orientações é possível relacioná-las com os lineamentos das juntas e falhas existentes na região e assim, juntamente com as observações de campo, estabelecer a existência de controle estrutural. Além disso, a orientação da voçoroca serve para indicar a direção de sua tendência de evolução. Todas essas informações são registradas em uma ficha cadastral (Figura 3) que juntamente com um croqui da incisão, acaba por materializar da melhor forma possível, a morfometria da incisão.

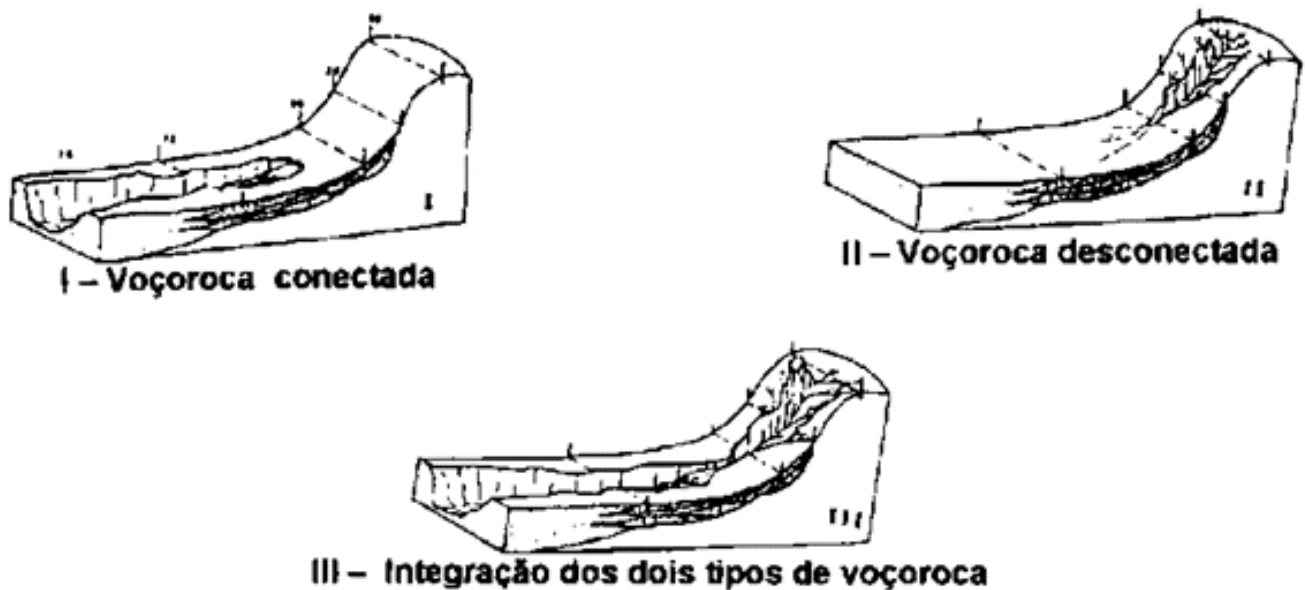


Figura 1. Tipos de voçorocas (OLIVEIRA, 1989).

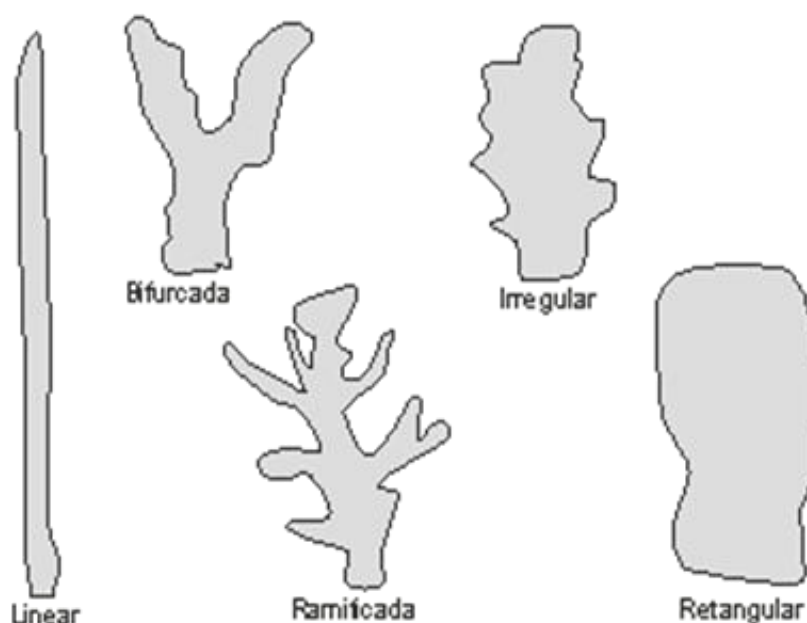


Figura 2. Formas de voçorocas (VIEIRA, 2008).

**Quadro 1.** Classificação das voçorocas por tamanho (m³). Fonte: Vieira e Albuquerque (2004).

Ord.	Volume erodido	Tamanho
01	Até 999 m³	Muito pequena
02	De 1.000 m³ até 9.999 m³	Pequena
03	Entre 10.000 e 19.999 m³	Média
04	Entre 20.000 e 40.000 m³	Grande
05	Mais de 40.000 m³	Muito grande

A ficha cadastral, cujo exemplo se encontra a seguir (Quadro 2), além de registrar os dados morfométricos de cada voçoroca, serve também para o registro de outras informações pertinentes, para entender melhor o surgimento desta e conseqüentemente sua evolução. Além de dados que podem ser úteis ao entendimento da área de ocorrência da voçoroca, destacando aspectos naturais, urbanos, ações de contenção, danos ambientais, danos materiais etc.

**Quadro 2.** Modelo de Ficha Cadastral. Fonte: Vieira (2008).

FICHA DE CADASTRAMENTO						
DATA DO 1º CADASTRAMENTO:						
1. LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA VOÇOROCA:						Nº
ACESSO:						
BAIRRO:			ZONA:			
2. COORDENADAS:						
GPS.:						
3. DADOS DA VOÇOROCA						
DATAS DOS MONITORAMENTOS	1º cad.	2º cad.	3º cad.	4º cad.	5º cad.	6º cad.
COMPRIMENTO (m):						
LARGURA (m):						
PROFUNDIDADE (m):						
ÁREA:	VOLUME:			DIREÇÃO:		
TIPO:	FORMA:			TAMANHO:		
DIST. DA PISTA:	EVOLUÇÃO:			ORIENT. DA PISTA:		
4. GEOLOGIA:						
5. GEOMORFOLOGIA						
( ) PLATÔ		( ) BAIXIO		( ) ENCOSTA		
CARACTERÍSTICAS DA ENCOSTA						
( ) ENCOSTA SUPERIOR		( ) ENCOSTA MEDIANA		( ) ENCOSTA INFERIOR		
FORMA:	COMPRIMENTO:			DECLIVIDADE:		
6. SOLO:						
( ) INALTERADO		( ) ALTERADO		( ) COMPACTADO		( ) CROSTAS
( ) LATOSSOLO		( ) ESPODOSSOLO		( ) ARGISSOLO		( ) ATERRO

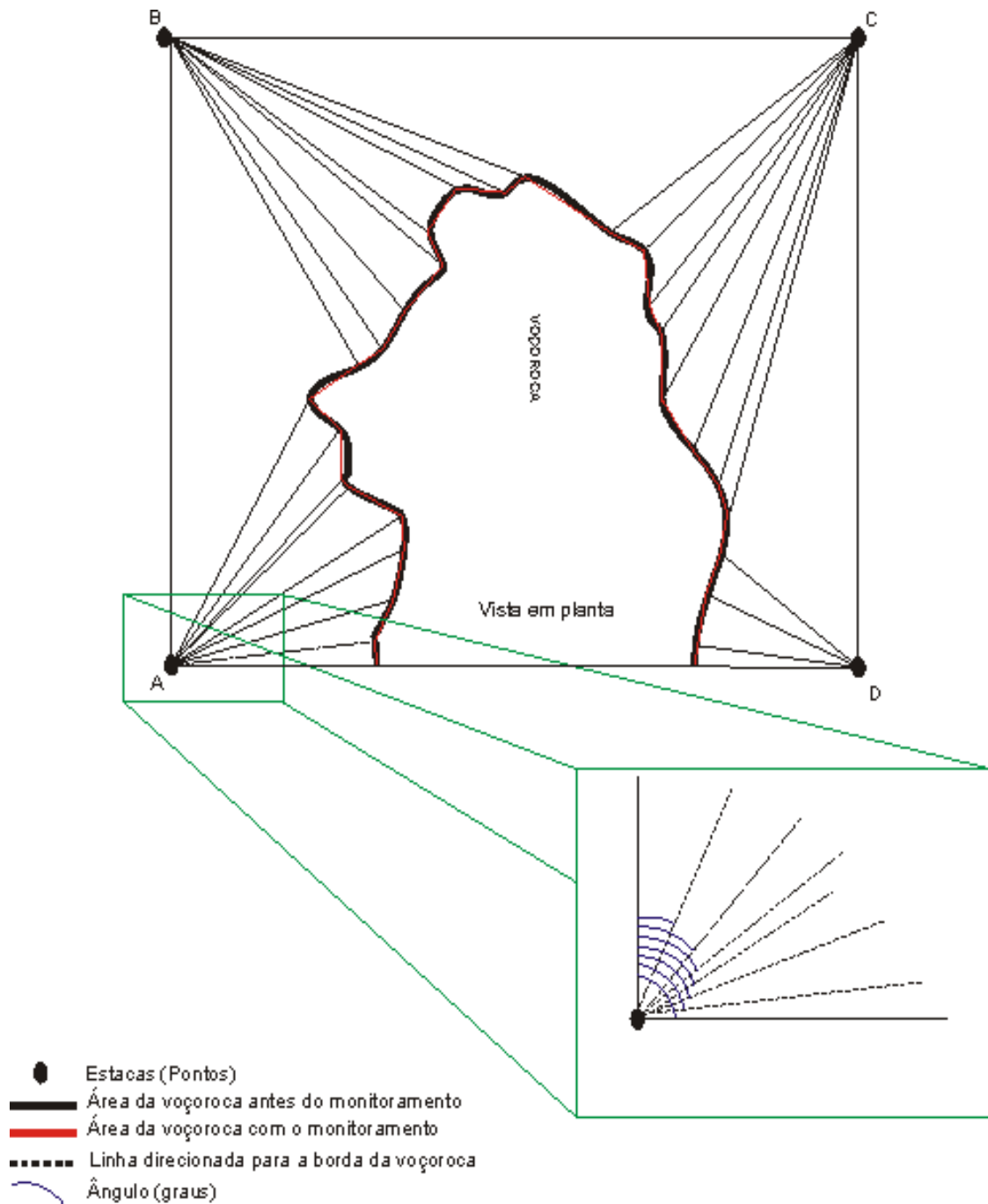
7. HISTÓRICO DA OCORRÊNCIA	
8. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A MONTANTE	
9. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A JUSANTE	
10. DANOS MATERIAIS	R\$
11. DANOS AMBIENTAIS	
12. MEDIDA DE CONTENÇÃO ADOTADA	
13. PREVISÃO DE EVOLUÇÃO	
14. OBSERVAÇÕES GERAIS	

## 2.2. Poligonais planimétricas

A técnica de monitoramento de voçoroca denominada poligonais planimétricas, também conhecida popularmente por “espinha de peixe”, constitui-se no uso de uma linha mestra estendida próximo da borda da voçoroca em sentido longitudinal a esta (VIEIRA, 1998), podendo existir outras linhas que fazem a delimitação da incisão (Figura 4). As extremidades dessas linhas (A, B, C e D) devem ser marcadas utilizando pontos fixos, os quais podem ser uma haste de metal ou mesmo uma pequena estaca, e com uma bússola, obtém-se o azimute de cada linha mestra e no momento da medição, grampos de metal são fincados nos contornos da borda da voçoroca (VIEIRA, 1998).

A partir de cada grampo, um fio de nylon é esticado até uma das extremidades e através de um transferidor medem-se os sucessivos ângulos de cada linha em relação à linha mestra e com uma trena as distâncias entre o grampo e o ponto verificado (OLIVEIRA et al., 1996; VIEIRA, 1998). Medições de profundidade em diferentes pontos da incisão permitem o cálculo do volume de solo evacuado e com a repetição desta técnica periodicamente, pode-se calcular o volume global erodido e estimar as taxas de erosão entre os diferentes períodos monitorados (OLIVEIRA et al., 1996).

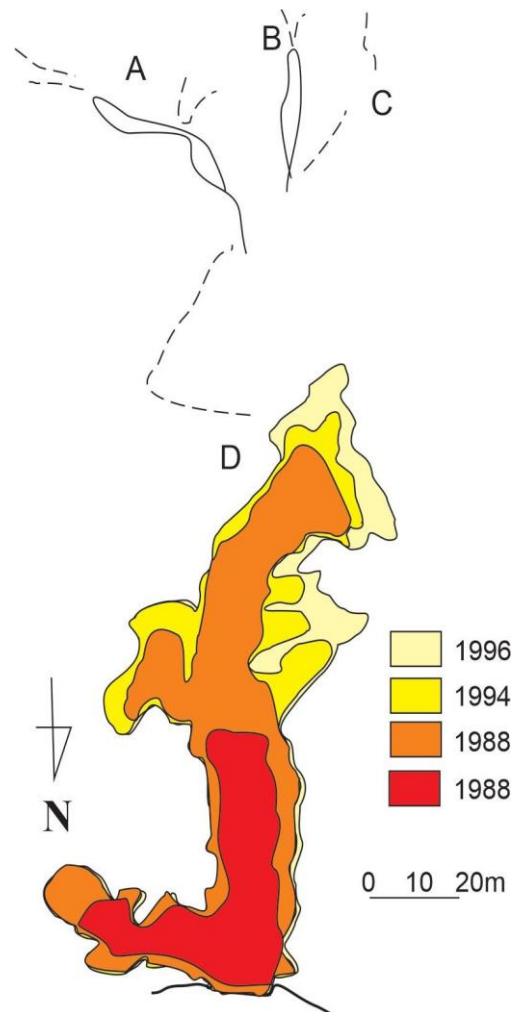
Oliveira et al. (1996) utilizando essa técnica, apresentam o resultado do monitoramento de 3 voçorocas na região rural do município de Resende-RJ, as quais já vinham sendo acompanhadas desde 1984. Nestas, percebeu-se que duas voçorocas eram desconectadas (A e B) e se encontravam na média e alta encosta em duas concavidades, (C) sulcos e a terceira (D), situada na baixa encosta, identificada como conectada à rede de drenagem (Figura 4). Assim, através dessa técnica de monitoramento foi possível acompanhar a evolução da incisão ao longo desse período de 12 anos. É possível atualizar o estado atual de evolução destas incisões e verificar, por exemplo, a aplicação do modelo de Oliveira (1989) para o tipo de voçoroca, no qual se previu a junção das voçorocas desconectadas com a voçoroca conectada, passando para o tipo integrada (OLIVEIRA et al., 1996).



**Figura 3.** Monitoramento de voçoroca por poligonais planimétricas. Fonte: os autores.

### 2.3. Imagens de satélite e imagens da plataforma Google Earth Pro

Pode-se afirmar, que o conjunto dessas ferramentas é mais empregado na localização das incisões e suas respectivas representações, pois os dados métricos precisam ser confirmados em campo com o uso da trena e ficha cadastral. As fotografias aéreas nos estudos de voçorocas em Manaus, remontam à década de 90 (século XX) e sua aplicação era somente de localizar a incisão com uso de um estereoscópio de espelho. Com a utilização das imagens de satélite (Quickbird, por exemplo) a verificação da existência das incisões se dava num menor tempo quando comparado às fotografias aéreas, mas também acabavam requerendo uma visita *in locu* para determinar os parâmetros morfométricos da voçoroca.



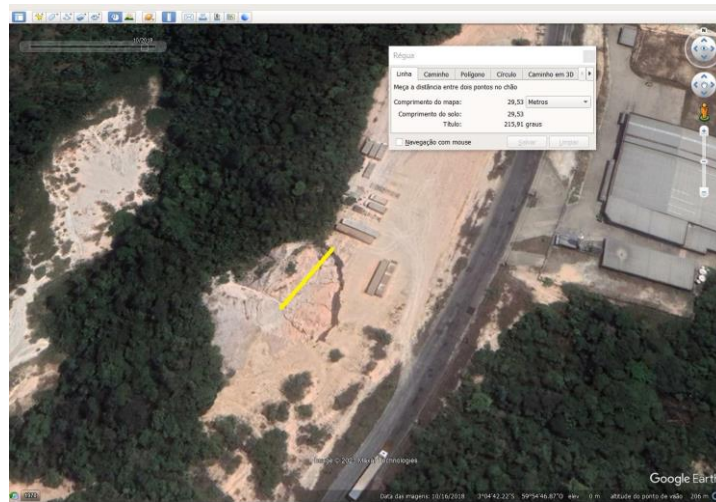
**Figura 4.** Voçorocas em vias de integração. Fonte: Modificado de Oliveira et al. (1996) para este trabalho.

As imagens de satélite da plataforma Google Earth Pro, por outro lado, permitem o uso da ferramenta régua, para determinar a área de contribuição, área da incisão, distância entre a cabeceira e algum outro ponto (via de acesso, casa etc.), comprimento e largura média da incisão (Figura 5). Carece também de um campo para levantar a profundidade e com isso estabelecer o volume médio erodido. As imagens disponíveis nessa plataforma apresentam mais um ponto positivo, que é a verificação da evolução da incisão numa escala temporal nos quesitos de forma (VIEIRA, 2008), tipo (OLIVEIRA, 1989) e até mesmo área (FROTA FILHO, 2016; FROTA FILHO; VIEIRA, 2020), visto que esta disponibiliza imagens de diferentes anos.

Deve ser considerado que o uso das imagens de satélite permite diversas formas de fotointerpretação, considerando fontes distintas e formas de se estudar os processos erosivos, para tanto Fitz (2008) explana que:

Em termos gerais, pode-se conceituar fotointerpretação como a técnica que realiza o estudo de imagens fotográficas, buscando identificar, interpretar e obter informações sobre os fenômenos e objetos nelas contidos. Apesar de, conceitualmente, a fotointerpretação estar tradicionalmente vinculada à aerofotogrametria (aerofotointerpretação), ela pode ser estendida à interpretação de imagens de satélite e de radar, ao menos quando trabalhadas na faixa do visível. Em todos os casos, tem-se sempre que a imagem captada deva ser vertical ou próxima disso (p.118).





**Figura 5.** Tela do software © Google Earth Pro apresentando a ferramenta régua (linha amarela), para determinação da largura da voçoroca.

É importante distinguir a interpretação por meio de fotos aéreas, imagens de radar e as de satélite. Segundo Fitz (2008) a diferença se encontra basicamente na resolução espectral e na escala de estudo (resolução espacial). Ainda é importante pontuar que apesar das imagens do Google Earth (Pro) serem derivadas de produtos de satélites, estas se diferenciam por não terem fontes e resoluções (espectral, radiométrica, espacial e temporal) conhecidas, muitas vezes sendo mosaicos com imagens de satélites distintos, a depender da área imageada a ser estudada.

#### 2.4. Imagens de alta resolução espacial via Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)

A técnica de monitoramento de voçoroca por meio de VANT está bastante popularizada, em especial pela facilidade do uso dos recursos, sendo de fácil acesso em termos financeiros, por ser um instrumento que pode produzir imagens aéreas e produtos derivados, como modelagem 3D e Modelo Digital de Superfície (MDS), imagens ortoretificadas, mosaicos, além da possibilidade de cobertura do solo. Aqui é descrita uma possibilidade de monitoramento por meio dessa ferramenta, neste caso, via VANT Phantom 4 (Figura 6), que associa tanto a prática de campo para o sobrevoo como de gabinete para o processamento digital de imagens. Este modelo de drone permite gravar vídeos e imagens de alta resolução georreferenciadas. O quadro 3 apresenta os equipamentos e parâmetros utilizados para realização do voo das voçorocas monitoradas na bacia Colônia Antônio Aleixo, em Manaus-AM, por Frota Filho (2021).

Antes do sobrevoo propriamente dito, faz-se necessária a estruturação de um plano de voo para a área a ser monitorada. Neste plano, inclui-se o tipo de voo, grid, altitude, velocidade, inclinação da câmera e outras questões técnicas (SILVA, 2021) diretamente no software Pix4D, o qual é ligado ao rádio controle (via celular ou tablet) e este com o VANT. Essas características do plano de voo são fundamentais para o nível de detalhe e de precisão do monitoramento.



**Figura 6.** Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).



**Quadro 3.** Característica dos parâmetros de voo. Fonte: Frota Filho (2021).

Parâmetros do voo	
Modelo do VANT	Phantom 4
Altitude	60 m
Plano de voo	<i>Grid Mission</i>
Câmera	4 K
Software para processamentos dos dados	PIX4D

Como o VANT possui GPS, os pontos registrados no primeiro momento são utilizados nos monitoramentos seguintes e estes pontos de registros terão sempre a mesma altitude, com o propósito de comparar as alterações morfológicas ocorridas durante o período de monitoramento (SILVA, 2020). As imagens depois de obtidas, são tratadas no programa *Agisoft Metashape*, de onde são extraídos modelos digitais de elevação, ortofotos, modelo tridimensional. Posteriormente, podem ser trabalhadas no ambiente de Sistema de Informações Geográficas - SIG, via Quantum GIS, por exemplo, onde são 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.

Conforme Silva (2020), como não existe uma metodologia específica de uso das imagens de VANT, segue-se inicialmente os mesmos procedimentos usados no tratamento de imagens de satélite. Para isso, faz-se uso do software *Agisoft MetaShape* e a partir do tratamento das imagens, pode ser elaborado o Modelo Digital de Superfície (MDS) com curvas de nível com equidistâncias de 5 metros, por exemplo, ou imagens ortomosaico e ortorretificadas, podendo inserir curvas de nível, modelo digital 3D.

Contudo, o avanço tecnológico dos imageamentos por meio do uso de (VANTs) segundo Krenz e Khun (2018); Krenz et al. (2019) pode ser a ferramenta a auxiliar na superação da lacuna entre medições terrestres dispendiosas e demoradas, a pouca disponibilidade ou qualidade insuficiente de dados de imagens de resolução grosseira de satélites ou sistemas remotos aéreos e atmosféricos.

Ao fazer o tratamento e sobreposição das imagens obtidas pelo VANT é possível gerar um Modelo Digital de Elevação para analisar as alterações na microtopografia em áreas com erosão. Nesse sentido, Zhang et al. (2018) *apud* Ou et al. (2021) explica que ao se voar com baixa altitude, entre 50 a 100 metros, por exemplo, a qualidade das imagens geradas podem ter resolução de 4cm, chegando a 2 cm. Se a altitude for reduzida, para 10 a 20m, a resolução pode alcançar a escala de milímetros (ANGUIANO-MORALES et al., 2018 *apud* OU et al., 2021). Os autores ainda indicam que o estudo em escala de bacia segue a razão oposta, quanto maior a altitude, maior será a área abrangida e menor o nível de detalhe.

### 3. Materiais e Métodos

Do ponto de vista metodológico, nesta pesquisa foram realizadas revisões sistemáticas, as quais “são consideradas estudos secundários, que têm nos estudos primários sua fonte de dados. Entende-se por estudos primários os artigos científicos que relatam os resultados de pesquisa em primeira mão” (GALVÃO e PEREIRA, 2014: p.1). Segundo estes autores, esse tipo de revisão, envolve a realização de 8 etapas, a saber: “(1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) avaliação da qualidade metodológica; (6) síntese dos dados (metanálise); (7) avaliação da qualidade das evidências; e (8) redação e publicação dos resultados” (p.183).

Assim, todas as etapas acima foram seguidas, intencionando responder a pergunta inicial a respeito de quais técnicas de monitoramentos de voçorocas são mais utilizadas na RMM. Para responder a essa pergunta, partiu-se para a busca da literatura, que compreende os artigos, relatórios de pesquisas, monografias, dissertações e teses, que tratam de estudos realizados no âmbito da RMM sobre voçorocas, e que, de alguma forma, versavam sobre monitoramentos. Esses dados foram obtidos diretamente no portal - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, nos periódicos eletrônicos (revistas), no repositório de trabalhos do Departamento de Geografia - DEGEOG/UFAM e nos arquivos do site da Pró-reitoria de Pesquisa - PROPESP/UFAM), de 1998 a 2021, considerando o trabalho mais antigo disponível ao mais atual. Após a aquisição dos trabalhos que tratavam sobre

voçorocas, foi feita a análise destes no que se refere aos que apresentavam enfoque no uso de metodologias de monitoramento.

Ao final, encontrados os trabalhos que fizeram uso de alguma técnica de monitoramento, pode-se então separá-los em quatro grupos, conforme a proximidade de uso dentro de uma escala de tempo (dos mais antigos aos mais recentes), sendo: 1) uso de trena, bússola, ficha cadastral e croqui; 2) uso da técnica poligonais planimétricas; 3) uso de imagens de satélite e da plataforma Google Earth; e 4) uso de imagens obtidas por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT. Vale destacar, que alguns trabalhos que se encaixavam nessa pesquisa não estavam disponíveis para download no site da CAPES (<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>), portanto, não foram aqui analisados. Além disso, concomitantemente, foram utilizados trabalhos clássicos e mais atuais para dialogar/discutir com estas pesquisas, apontando as vantagens e limitações de cada metodologia usada no monitoramento. Cabe ressaltar que a área de estudo desses trabalhos compreende apenas a RMM.

### 3.2. Área de estudo

A Região Metropolitana de Manaus – RMM (Figura 7) foi instituída em 2011 e abrange 13 municípios (LIMA, 2014), dos quais sete são limítrofes com Manaus (Iranduba, Careiro da Várzea, Itacoatiara, Novo Airão, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva) e seis que não são (Autazes, Careiro, Itapiranga, Manacapuru, Manaquiri e Silves). Esses municípios se conectam por meio de rodovias federais e estaduais. Partindo de Manaus, tem-se: BR-174: Presidente Figueiredo; BR-319: Careiro da Várzea e Careiro; AM-010: Rio Preto da Eva e Itacoatiara; AM-070 e Rodovia Carlos Braga: Iranduba; AM-070: Manacapuru; BR-319 e AM-254: Autazes; AM-010 e AM-363: Itapiranga; AM-010, AM-363 e AM-330: Silves; AM-070 e AM-352: Novo Airão; BR-319 e AM-354: Manaquiri. Em face da grande extensão, existem muitos estudos voltados aos processos e feições erosivas em rodovias na RMM.

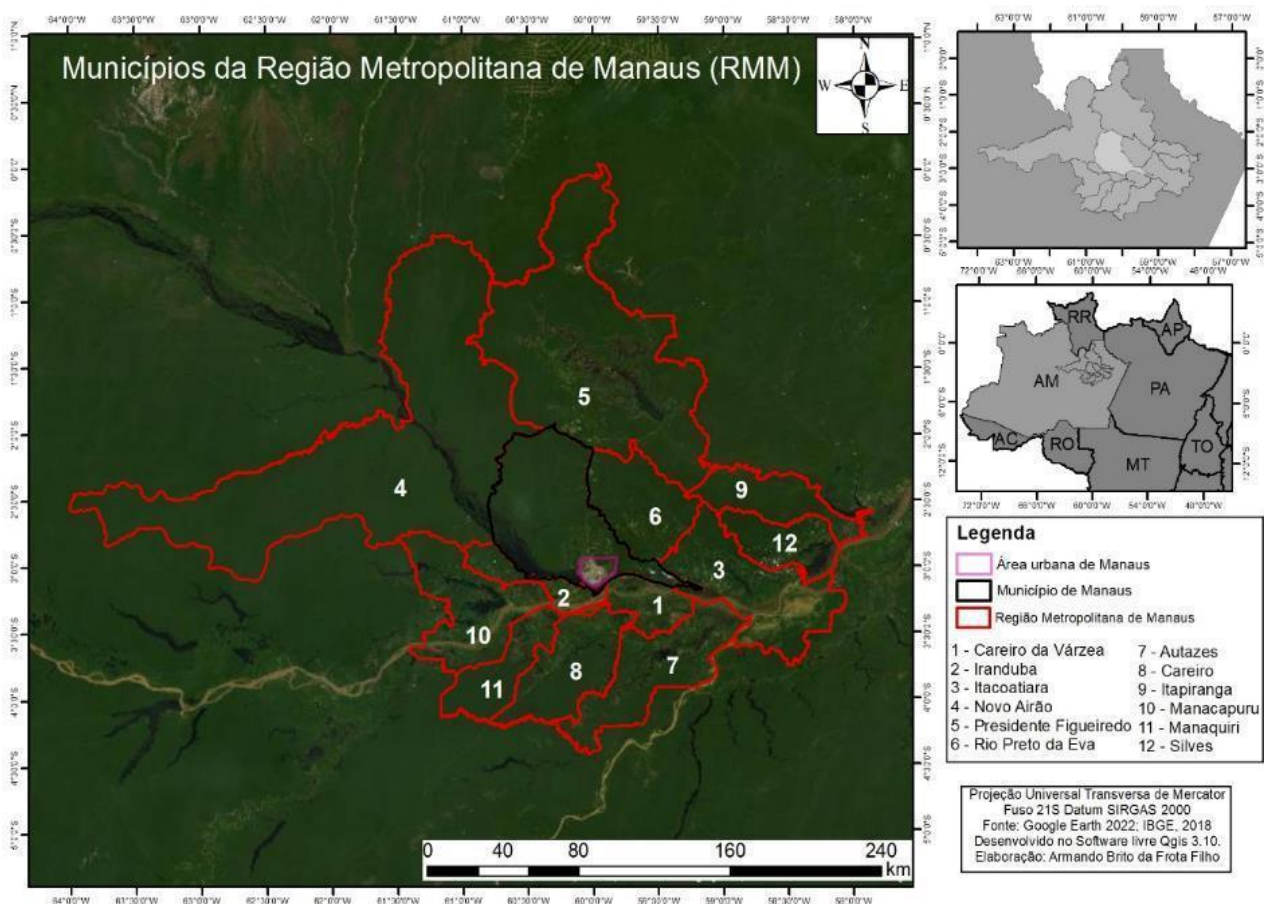


Figura 7. Região Metropolitana de Manaus, AM.

A RMM está inserida, majoritariamente, no contexto geológico-geomorfológico da Unidade Morfoestrutural do Planalto Dissecado do Rio Trombetas/Rio Negro, Planalto Setentrional da Bacia Sedimentar do Amazonas, no Planalto dissecado dos rios Uatumã-Jari e Planície Amazônica, representados por um sistema de colinas pequenas e médias, tabuliformes, pertencentes a uma vasta seção de um tabuleiro de sedimentos terciários, variando com cotas altimétricas entre 50 a 100 metros (SILVA, 2005). No que se refere aos solos, verifica-se a dominância dos Latossolos Amarelos localizados nos platôs, tanto nos topos como na porção superior e média das encostas. Da média encosta até próximo aos fundos de vale, ocorrem os Argissolos Amarelos e na parte inferior da encosta e nos baixios, encontram-se os solos ricos em areias, como o Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, além de Gleissolos em áreas alagadiças e de manchas de Neossolo Flúvico e Plintossolo (IBGE, 2010). A vegetação predominante é constituída pela Floresta Ombrófila Densa do tipo Aluvial e de Terras Baixa, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Aberta Aluvial, Formação Pioneira Aluvial (IBGE, 2010) e Vegetação secundária, além das áreas de pasto e agricultura.

Na Amazônia, de forma geral, o clima predominante é o Equatorial, o qual se caracteriza pela elevada precipitação anual, entre 1.500 e 4.000 mm, distribuída regularmente por todos os meses do ano (TROPPEMAIR, 2012). Especificamente, na região leste do Amazonas ocorrem as menores taxas de precipitação, com variações de um a três meses de seca (HONÓRIO, 2008). O período de maior pluviosidade ocorre entre os meses de novembro e março, enquanto os de menor precipitação vão de maio a setembro (FISCH et al., 1998). Em Manaus a precipitação média anual (1986 a 2015) fica em torno de 2339,3 mm com média de 178 dias de chuva no ano (D'ÁVILA JÚNIOR; VIEIRA, 2019).

Nesse ambiente verifica-se que a expansão urbana de Manaus e dos outros centros urbanos que compreendem a RMM, somadas às rodovias, têm sido palco preferencial para o desenvolvimento de voçorocas, geralmente associadas à retirada da cobertura vegetal, terraplanagem e sistemas de drenagem das vias de acesso (ruas, avenidas e rodovias) construídos em terrenos com forte declividade combinados com a elevada pluviometria, acaba por acarretar na alteração nas dinâmicas hidrogeomorfológicas e com isso, verifica-se o aumento do potencial erosivo das águas pluviais (GUERRA, 1996; VIEIRA, 2008; FROTA FILHO, 2016; 2021; FROTA FILHO et al., 2020). O surgimento das voçorocas pode estar ligado também à demora na ocupação de certas áreas após a conclusão das obras de terraplanagem, o que deixa o solo exposto à ação das chuvas e conseqüentemente a intensificação dos processos erosivos, visto que o solo compactado pelas máquinas, dificulta a infiltração da água e possibilita o escoamento superficial (difuso ou concentrado), gerando as incisões erosivas (sulcos) que podem evoluir para ravinas e voçorocas.

Desta forma, ambientes com características geomorfológicas que propiciam o desencadeamento de feições erosivas tendem a ser mais suscetíveis ao voçorocamento relacionado ao processo de expansão urbana, tal como pode ser encontrado em Manaus e nos demais municípios da RMM, como em Rio Preto da Eva e Iranduba (LIMA, 2020, 2021; SILVA, 2020; 2021), assim como em construções de estradas e rodovias, a exemplo das rodovias AM-010 (DIRANE, 2016), AM-330 e AM-363 (SILVA, 2014), AM-352 (SILVA, 2013) e BR-174 (VIEIRA; ALBUQUERQUE, 2004; CARVALHO, 2017).

#### 4. Resultados

Do total de trabalhos levantados ( $n=83$ ) que se referem à voçoroca em seu título, foram utilizados apenas 27 trabalhos, sendo: 8 artigos publicados em periódicos, 5 capítulos de livros, 4 relatórios de pesquisa, 1 monografia, 7 dissertações e 2 teses, dos quais, foram extraídas além da técnica de monitoramento, as definições de voçorocas e seus principais resultados. Os demais trabalhos ( $n=56$ ), apesar de terem a voçoroca como objeto de estudo, não contemplavam seu monitoramento, por essa razão não foram analisados. Desse total, 70,38% ( $n=19$ ) fazem uso de apenas uma técnica de monitoramento, com destaque para o grupo 1 (trena, bússola, ficha cadastral e croqui), mas se verifica também para o grupo 2 (imagens de satélite e imagens do Google Earth) e o grupo 4 (imagens do VANT). O restante 29,62% ( $n=8$ ) fez uso de duas ou mais técnicas (trena, bússola, ficha cadastral e croqui + imagens do Google Earth; trena, bússola, ficha cadastral e croqui + imagens do Google Earth + imagens do VANT).

##### 4.1. O monitoramento inicial (uso da trena, bússola, croqui e ficha cadastral)

Para representar essa técnica de monitoramento foi escolhida a voçoroca denominada CIRMMAN 5 (Figura 8), localizada na área do 1º Batalhão de Infantaria de Selva (1º BIS), onde se encontra a área do Círculo Militar de

Manaus – CIRMMAN, bairro São Jorge, Manaus – Amazonas. Essa voçoroca compreende o grupo de voçorocas cadastradas até 2008 ( $n=91$ ) e que se encontravam ativas naquele momento. Especificamente, na área do 1º BIS existiam 5 voçorocas, mas esta era a que apresentava uma dinâmica diferenciada em relação às demais, visto que se desenvolvia sobre duas classes de solos, onde da cabeceira da incisão até a porção média desta, o solo era Latossolo Amarelo e deste ponto até seu contato com um curso d'água o solo era Espodossolo. Assim, com o uso da ficha cadastral, foram registradas algumas características dessa incisão e representados no croqui da Quadro 4 a seguir. Essa incisão, assim como muitas voçorocas ( $n=33$  do total de 91 monitoradas em 2008), localizadas em Manaus, tiveram seus respectivos surgimentos relacionados ao processo de desmatamento com posterior terraplenagem; atividade comum nas ocupações ordenadas em Manaus (VIEIRA, 2008). Assim, a voçoroca em destaque, foi fruto desse processo e seu monitoramento se deu de forma satisfatória com o emprego da ficha cadastral, trena, e bússola e croqui, e esse registro pode servir para futuras comparações em novos monitoramentos.

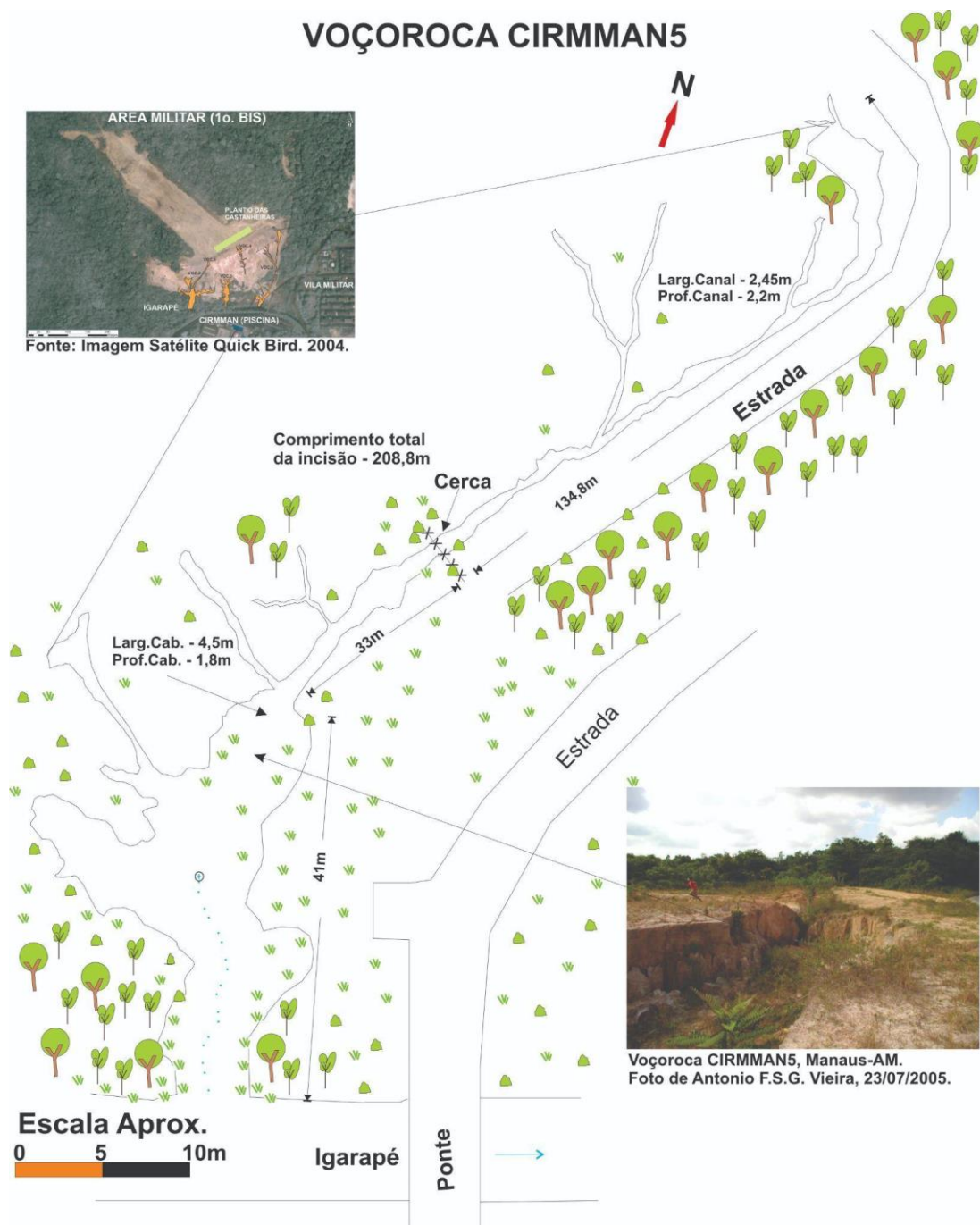


Figura 8. Croqui representativo da Voçoroca CIRMMAN 5, Manaus-AM.

**Quadro 4.** Ficha Cadastral da Voçoroca CIRMMAN 5, Manaus-AM. Fonte: Vieira (2008).

FICHA DE CADASTRAMENTO						
DATA DO 1º CADASTRAMENTO: 23/ 07/ 2005						
Nº 9						
1. LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DA VOÇOROCA: CIRMMAN 5						
ACESSO: Clube do Exército – CIRMMAN						
BAIRRO: São Jorge				ZONA: Oeste		
2. COORDENADAS: 03º05'56.3" S / 60º01'51.9" W						
GPS.: Garmin Etrex (9m de precisão)						
3. DADOS DA VOÇOROCA						
DATAS DOS MONITORAMENTOS	1º cad. 23.07.05	2º cad.	3º cad.	4º cad.	5º cad.	6º cad.
COMPRIMENTO (m):	208,8					
LARGURA (m):	4,5					
PROFUNDIDADE (m):	1,8					
ÁREA: 595 m <sup>2</sup>	VOLUME: 1236,54m <sup>3</sup>			DIREÇÃO: S-N		
TIPO: Conectada	FORMA: Ramificada			TAMANHO: Pequena		
4. GEOLOGIA: Formação Alter do Chão						
5. GEOMORFOLOGIA						
( ) PLATÔ		( X ) BAIXIO			( ) ENCOSTA	
CARACTERÍSTICAS DA ENCOSTA						
( ) ENCOSTA SUPERIOR		( x ) ENCOSTA MEDIANA		( x ) ENCOSTA INFERIOR		
FORMA: Plana		COMPRIMENTO:		DECLIVIDADE: 5º		
6. SOLO						
( ) INALTERADO ( x ) ALTERADO ( x ) COMPACTADO ( x ) CROSTAS						
( x ) LATOSSOLO ( x ) ESPODOSSOLO ( ) ARGISSOLO ( ) _____						
7. HISTÓRICO DA OCORRÊNCIA						
Escoamento superficial concentrado em função do desmatamento e terraplanagem.						
8. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A MONTANTE						
Área desmatada e terraplanada. Pequena parcela com plantio de castanheiras. Altitude aproximada de 28m.						
9. USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA A JUSANTE						
Igarapé e o clube do Exército (CIRMMAN)						
10. DANOS MATERIAIS						
Perda de área.						
Vlr. do m <sup>2</sup> = R \$79,42 (PM/DEAP, 2006).					R\$ 47.254,90	
Data: 20/10/06						
11. DANOS AMBIENTAIS						
Perda de área e solo. Assoreamento do canal.						

<b>12. MEDIDA DE CONTENÇÃO ADOTADA</b>		
Foi executada em junho/2006 uma contenção na forma de barreiras (barramento com madeira – pallets descartados pelas indústrias) e plantio de bambus no interior da incisão (dezembro/2006).		
<b>CUSTO:</b>	R\$	0,00
<b>Data:</b> junho/2006		
<b>13. PREVISÃO DE EVOLUÇÃO</b>		
Por conta da contenção executada em junho/2006 a voçoroca deixou de evoluir em direção à montante. Assim, a porção média e superior desta, encontra-se estabilizada com presença de vegetação diversa.		
<b>14. OBSERVAÇÕES GERAIS</b>		
Apresenta uma densa rede de pequenos sulcos que se dirigem para o canal principal. Os dados relativos aos parâmetros dimensionais como largura e profundidade registrados acima, referem-se à parte mais larga da incisão. Na área do canal a jusante da cabeceira a declividade é de 5°.		

A seguir, a análise das potencialidades e limitações do uso da trena, bússola, ficha cadastral e croqui (Quadro 5).

**Quadro 5.** Possibilidades e limitações do uso da trena, bússola, ficha cadastral e croqui.

Possibilidades	Limitações
Material de baixo custo e de fácil aplicação em campo.	Imprecisão dos contornos da incisão via croqui.
Dado de campo (dado primário).	Dependente de boas condições de acesso (sem riscos na proximidade com a borda da incisão) para se fazer as medições.
Permite observar outras características e feições em campo e inseri-las na análise via ficha cadastral	Dependendo do tamanho da incisão, o trabalho pode ser demorado
Pode servir de complemento para outros tipos de monitoramentos.	
Agrega muitas informações através da anotação na ficha cadastral.	

#### 4.2. Monitoramento por poligonais planimétricas

Para exemplificar essa técnica (no caso de Manaus), foi escolhida a voçoroca denominada COBAL (Figura 10), dentre as 5 voçorocas monitoradas no período de janeiro/1997 a janeiro/1998 por Vieira (1998). A escolha deveu-se pelo fato desta ter sido monitorada com mais frequência que as outras voçorocas existentes em Manaus naquele período (1997-1998). Essa incisão foi descrita como sendo do tipo conectada e com a forma retangular, expandindo-se no sentido W-E e conforme os monitoramentos realizados no período de 06/01/97 a 09/01/98, esta voçoroca apresentou evolução em todos os sentidos (cabeceira e bordas) (VIEIRA, 1998). Sua origem estaria ligada à canalização das águas pluviais oriundas das vias pavimentadas à montante da cabeceira desta.

Com esse monitoramento, pôde-se calcular alguns valores para o período (entre janeiro/1997 a maio/1997), como área erodida de 793m<sup>2</sup> e volume erodido (1072,8m<sup>3</sup>), sendo esse período coincidente com o período de grande volume de chuva na região. Ao passo que no período de maio/1997 a novembro/1997, o volume erodido foi de 238,4 m<sup>3</sup>. Enquanto de novembro/1997 a janeiro/1998 o volume erodido foi de apenas 74,5m<sup>3</sup> (VIEIRA, 1998).



Destaca-se que o ano de 1997, coincidiu com a influência do *El Nino* na região, onde os índices pluviométricos ficaram abaixo do esperado, totalizando neste ano cerca de 1.953,1 mm, abaixo da média para Manaus que fica em torno de 2.300 mm (VIEIRA, 1998). Até a data do último monitoramento em 06/01/1998 essa voçoroca havia ocupado uma área de 1.716,54 m<sup>2</sup> e erodido 25.576,44 m<sup>3</sup>, o que a classificava como sendo uma voçoroca de tamanho grande (VIEIRA, 1998).

Essa incisão, se encaixa na descrição conceitual de voçoroca, ou seja, taludes verticais, fundo plano, seção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m (VIEIRA, 2008) (Figura 11). Vale destacar, que essa definição foi adotada por todos os trabalhos aqui analisados (n=27). Utilizando-se das imagens do *Google Earth Pro*, percebe-se que até o ano de 2006 essa voçoroca continuava ativa, mas no ano seguinte (2007) ela foi contida com acréscimo de aterro e introduzida espécies vegetais. Na última imagem disponibilizada em abril/2022 a área já se encontra novamente em uso, como área de depósito de contêineres (Figura 12).

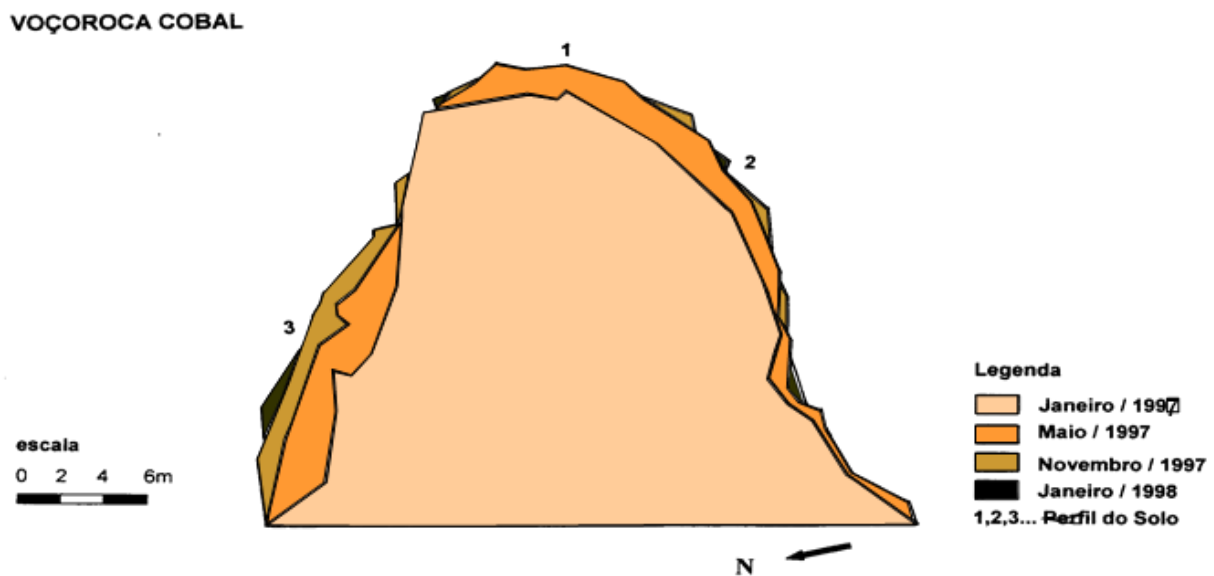


Figura 10. Monitoramento através da técnica poligonais planimétricas. Fonte: Vieira (1998).

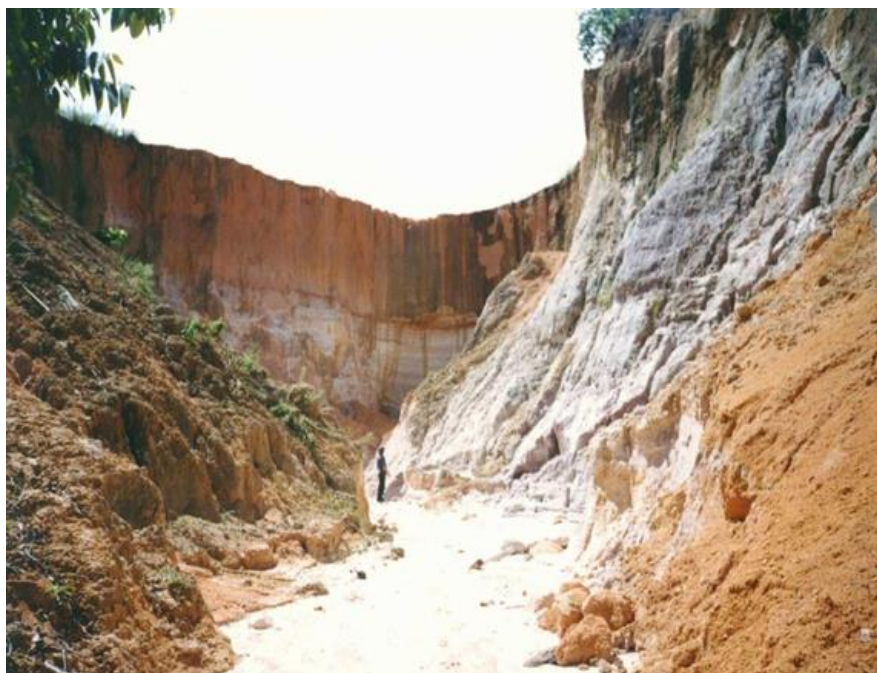


Figura 11. Voçoroca Cobal, Manaus-AM. Fonte: Vieira (1998).





**Figura 12.** Voçoroca Cobal e a reabilitação da área. Fonte: © Google Earth Pro (2022).

A seguir, no Quadro 6, apresentam-se as potencialidades e limitações do uso das poligonais planimétricas.

**Quadro 6.** Possibilidades e limitações do uso das poligonais planimétricas.

Possibilidades	Limitações
Fácil aplicação em campo.	Dependendo do tamanho da voçoroca e o acesso a esta, o monitoramento pode ser demorado.
O material utilizado tem baixo custo (trena, fio de nylon, transferidor escolar e bússola)	A reprodução do desenho que representa o contorno da voçoroca é feita à mão o que pode levar a imperfeições.
Permite calcular área e volume erodidos, assim como estimar as taxas de crescimento linear da incisão.	O desenho final precisa ser digitalizado em software específico (Corel Draw, Paint etc.)
O monitoramento contínuo permite verificar o sentido de evolução da incisão.	Dependendo da escala utilizada, pode-se perder alguns detalhes do contorno da incisão.
Permite monitorar feições de diferentes tamanhos, inclusive aquelas que não seriam possíveis de ser monitoradas através de imagens de satélite.	Dificuldade de repetir o monitoramento em campo caso ocorra a perda do ponto de referência, quer seja pela expansão da incisão ou pelas atividades de animais ou pessoas.

#### 4.3. Imagens de satélite e imagens da plataforma Google Earth Pro™

Singh (1977) esclarece que as imagens de satélite, mesmo as mais antigas e com baixa resolução, se mostraram úteis para mapeamento em larga escala. Com a evolução das técnicas e dos produtos foi possível realizar o monitoramento, como os estudos de Shruthi et al. (2011), que usou imagens de alta resolução espacial para analisar características de voçorocas e o trabalho de Xu et al. (2019) que analisou o recuo da cabeceira de voçorocas com base em imagens de satélite de alta resolução na região de Loess na China.

No Amazonas, o uso de imagens de satélite foi utilizado basicamente para um primeiro levantamento da localização de cada incisão com posterior confirmação em campo e para caracterizar a área de ocorrência de cada voçoroca, em cadastramento realizado em 2008 para a cidade de Manaus, sendo que para localizar essas incisões utilizaram as imagens no formato Jpeg. do *QuickBird* (VIEIRA, 2008) (**Figura 13**). Nesse caso, apesar de serem figuras na extensão Jpeg, estas apresentavam uma qualidade visual muito boa, o que permitiu com facilidade identificar as feições como voçorocas e a partir disso, localizá-las após identificação das vias de acesso também

identificáveis nessas figuras. Aproveitando-se dessas mesmas figuras, fez-se a caracterização da área do entorno da voçoroca monitorada, destacando aspectos de uso e ocupação, áreas verdes, cursos d'água, solo exposto, etc.



**Figura 13.** Localização e identificação de voçorocas através de imagens de satélite. A: recorte da imagem do Quickbird (2004); B: área de deposição de sedimentos oriundos das voçorocas 17 e 30; C: A mesma área B, mas agora com ocupação (Nova Vitória). As setas indicam: Vermelha - bairro Grande Vitória (fotos A e C); Amarela – área de deposição de sedimentos da voçoroca 17; Verde - voçoroca 17; Azul - voçoroca 30 (ambas incisões já existiam em 1999); Preta - voçoroca 36 (foto C) surgiu no final de 2005. Fonte: Vieira (2008).

A seguir, a análise das potencialidades e limitações do uso de imagens de satélite (Quadro 7).

**Quadro 7.** Possibilidade e limitações do uso de imagens de satélite.

Possibilidades	Limitações
Uma gama muito grande de imagens, considerando quantidade de locais e temporalidade, a exemplo do satélite LandSat que possui imagens desde 1972, ainda que com baixa resolução espacial.	Há uma quantidade limitadas de imagens disponíveis para uso público, tanto por serem satélites novos, e por imagearem com menos frequência cada área;
Satélites de alta resolução (espacial, radiométrica e espectral) conseguem gerar imagens apropriadas para monitoramento, além da geração de subprodutos como curvas de nível, mapas hipsométricos e mapas de uso e ocupação do solo	Dificuldade no acesso das imagens de melhores resoluções (espacial, temporal, radiométrica e espectral), por se tratar de redes de satélites pagas ou militares.
Possibilidade de acesso a imagens por instituições como INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e USGS ( <i>United States Geological Survey</i> / Serviço Geológico dos Estados Unidos).	Dificuldade no acesso das aerofotografias por se tratar de voos vinculados a projetos ou pesquisas privadas e/ou que não possibilitem a disponibilidade imediata.
As aerofotografias permitem análises com maior nível de detalhe por imagens.	

Para representar a técnica de monitoramento via *software Google Earth Pro*, foi escolhida uma Voçoroca no bairro Distrito Industrial II, Manaus – Amazonas. A figura 14 apresenta o processo evolutivo dessa incisão em um período em que ela ainda não estava sendo monitorada, dessa forma foi possível observar a direção de crescimento, alteração de tipo e forma da incisão (FROTA FILHO, 2016). Uma das vantagens do uso dessas imagens é o acesso a dados anteriores a pesquisa, auxiliando no monitoramento mais longo e com um bom nível de detalhe, no caso exemplificado acima, onde foi observado o crescimento da incisão de maneira geral e sua direção, como a sua evolução, passando de uma incisão do tipo conectada para o tipo integrada (FROTA FILHO, 2016). Isso permitiu inferir que a voçoroca está no estágio de estabilização, com redução das taxas de crescimento.

A análise das imagens obtidas pelo *software Google Earth™* é apenas uma das técnicas usadas neste monitoramento, sendo que além da área morfológica e evolução areal, a imagem também pode passar por georreferenciamento em ambiente de SIG. Em campo, foram verificadas a largura, comprimento e profundidade da incisão (uso da trena), assim como o uso da ficha cadastral para fazer um monitoramento mais detalhado e obter outras características morfológicas e morfométricas *in situ* (FROTA FILHO, 2016).



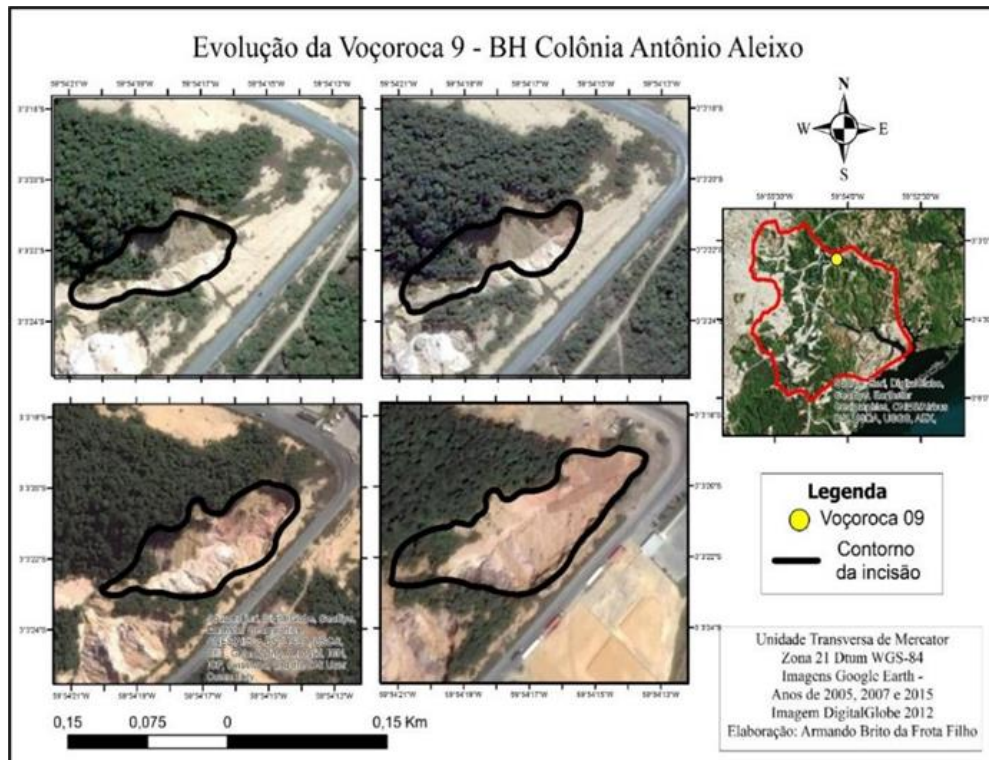


Figura 14. Evolução da voçoroca 9, referente aos anos de 2005, 2007, 2012 e 2013. Fonte: Frota Filho (2016).

No Quadro 7, apresenta-se as potencialidades e limitações do uso das imagens do *Google Earth Pro™*.

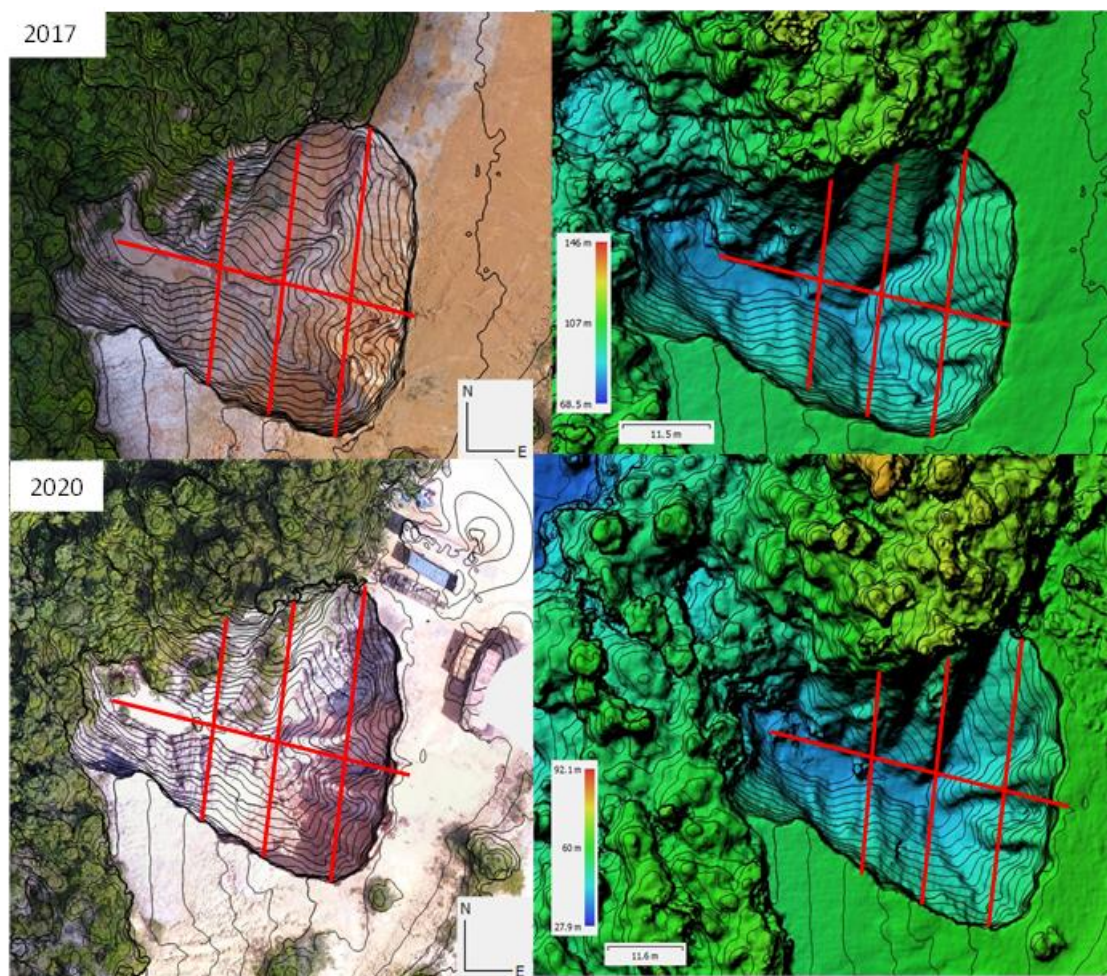
Quadro 7: Possibilidades e limitações do uso das imagens do *Google Earth Pro™*.

Possibilidades	Limitações
De fácil acesso é gratuito (BOARDMAN, 2016).	É mais difícil quantificar feições erosivas menores, visto a resolução espacial não ser tão precisa e de detalhe, em especial se comparada a monitoramentos em campo (BOARDMAN, 2016).
Ideal para mapeamento de reconhecimento e descoberta de locais de difícil acesso durante o trabalho de campo (BOARDMAN, 2016).	Devido à aquisição de imagens com datas aleatórias não é possível fazer um monitoramento tão consistente, pois anos importantes do processo erosivo podem ser perdidos – Monitoramentos anuais não são possíveis (BOARDMAN, 2016).
Feições erosivas maiores como voçorocas podem ser monitoradas (BATISTA et al., 2019; SILVA et al., 2023).	Falta de conhecimento do satélite de origem das imagens e de suas resoluções específicas (resolução espacial, temporal, radiométrica e espacial) para análises mais técnicas.
Cobertura da terra quase completa; o terreno pode ser examinado a partir de uma variedade de escalas e perspectivas, incluindo perspectivas verticais, oblíquas e 3D (TOOTH, 2013).	A aquisição da altimetria não é confiável, o que impossibilita análise de profundidade e volume erodido das incisões

As imagens são exibidas em um sistema de coordenadas (latitude e longitude). Possível pesquisar com base em coordenadas ou nomes de lugares (TOOTH, 2013)	Os datums e projeções do mapa não podem ser alterados (a Projeção Equatorial Cilíndrica é usada como padrão) (TOOTH, 2013)
Medidas quantitativas básicas podem ser realizadas usando ferramentas simples (régua), por exemplo, distâncias (TOOTH, 2013) e área, ainda que com erro pequeno.	-
É possível salvar as imagens e usá-las em outros programas de Sistema de Informação Geográfica, permitindo o seu georreferenciamento. O inverso também é possível, podendo importar arquivos (em formato KML) para o <i>Google Earth</i> , trazendo delimitações de bacias, distritos ou municípios, por exemplo.	-
Possibilidade do uso da ferramenta <i>Google Street View</i> para localização e imageamento de voçorocas próxima a ruas, rodovias e estradas (LOUREIRO, 2019; COSTA, 2020).	-

#### 4.4. Imagens de alta resolução espacial via VANTs

A exemplo do uso de drones para o monitoramento tem-se o acompanhamento de uma voçoroca na bacia Colônia Antônio Aleixo (Manaus – AM), ocorrido em dois momentos, em 2017 e 2020 (FROTA FILHO, 2021) que, com o uso do VANT, obteve-se registros de algumas características dessa incisão (Figura 15). Por meio das imagens foi possível identificar a forma das voçorocas, e após o processamento das imagens pôde-se aferir os perfis transversais (larguras), perfil longitudinal (comprimento) e a profundidade, além de calcular a área e volume da voçoroca. Como dito anteriormente, a interpretação e monitoramento por imagens pode e deve ser associada a outras técnicas e análises, como das propriedades físicas do solo, assim, sendo possível calcular a quantidade de material acumulado erodido total, em volume e em peso aproximado, ao se associar dados de Densidade do solo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).



**Figura 15.** Voçoroca 1, nos monitoramentos, referentes de 2017, na parte superior e 2020 na parte inferior com cotas de equidistância de 5 metros. Fonte: Frota Filho (2021).

No caso da Voçoroca 01, a Tabela 1 apresenta os dados relativos ao processo evolutivo desta, ocorrido entre os monitoramentos de 2017 e 2020. Chama atenção a profundidade da incisão que diminuiu nesse intervalo, e isso se deve ao próprio crescimento desta, que ao desprender as paredes através de movimentos de massa, acumula o material no fundo reduzindo assim (temporariamente) a profundidade. A partir dos dados de densidade do solo ( $g/cm^3$ ) de 1,41 multiplicado pelo volume ( $39\ 597,77\ m^3$ ), foi possível aferir a quantidade em toneladas do solo erodido da voçoroca, que totalizou 55 832,15t (FROTA FILHO, 2021). Sendo esse um exemplo da associação do monitoramento de feições erosivas com outras técnicas.

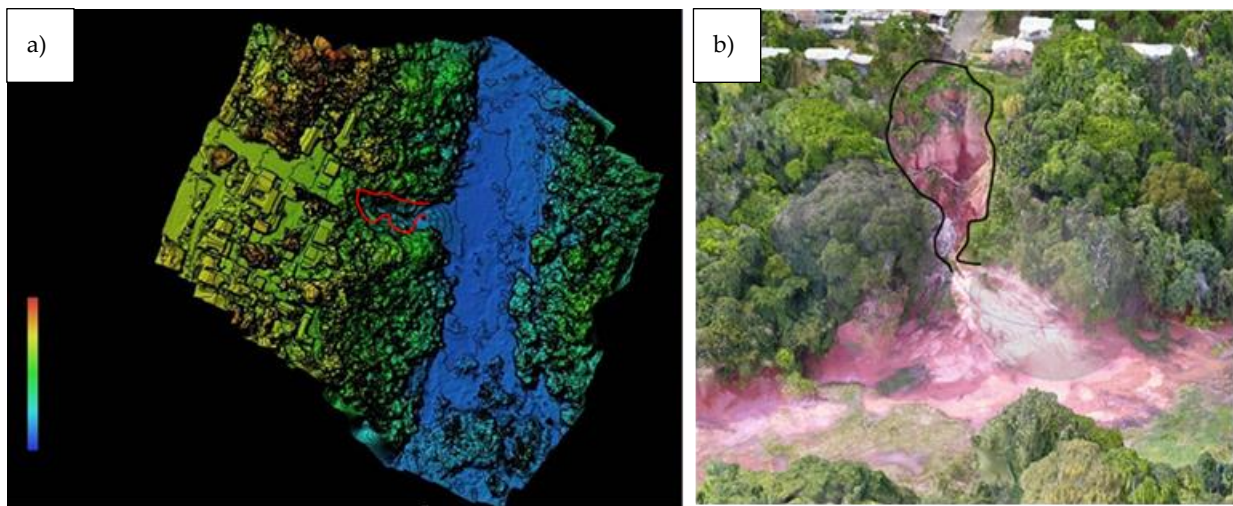
Outro exemplo do uso do VANT pode ser observado nos trabalhos de Silva (2020) e Silva (2021) que conseguiram imagear e delinear perfis longitudinais e topográficos das voçorocas, assim como de outras formas de relevo, como encostas e até mesmo a nível de bacia a depender da velocidade e duração da bateria do VANT. Gerando tanto modelos digitais de elevação (Figura 16a), como imagens ortorretificadas e em 3D (Figura 16b). Ainda é possível fazer um monitoramento que considere as imagens do software *Google Earth™* associada às imagens do VANTS.

**Tabela 1.** Dados métricos da voçoroca. Fonte: Frota Filho (2021).

Voçoroca 01			
Parâmetros	2017	2020	Alterações
Perfil Transversal AB	39,75	41,98	2,23
Perfil Transversal CD	32,74	32,94	0,20
Perfil Transversal EF	24,42	24,81	0,39



(m)	<b>Média dos perfis</b>	32,30	33,24	0,94
	Perfil longitudinal	52,19	54,42	2,24
	Profundidade	21,92	21,89	-0,04
(m2)	Área erodida	1 685,85	1 809,06	123,21
(m3)	Volume erodido	36 951,35	39 597,27	2 645,92
(t)	Material erodido	52 101,40	55 832,15	3 730,75



**Figura 16.** a) Modelo Digital de Superfície com cotas altimétricas (esquerda). b) Ortomosaico, voçoroca 6 (direita).  
 Fonte: Silva (2020).

Assim, ao mesclar diferentes formas de monitoramento, ainda que com níveis de detalhe diferenciados é possível fazer uma análise contínua e mais apurada do processo evolutivo. E por conseguinte aferindo o impacto no ambiente físico como assoreamento de canais, e os subsequentes impactos na rede de drenagem, como no aspecto social, via monitoramento de áreas de risco à população circum-adjacente. No quadro 8 apresentam-se as potencialidades e limitações do uso das imagens do VANT.

**Quadro 8.** Possibilidades e limitações do uso de imagens do VANT.

Possibilidades	Limitações
A principal vantagem é sua facilidade de transporte e poder equipar os aparelhos com vários tipos de sensores, a depender do que se desejar observar (OU et al., 2021).	Deve-se notar que a metodologia é tão boa quanto o georreferenciamento subjacente (KRENZ; KUHN, 2018).
Possibilidade de planejar voos antecipadamente para realização de aquisição de dados imagens do VANT é menos influenciada por obstruções porque o campo de visão da câmera não é estacionário como nos lasers scanner terrestre (KRENZ; KUHN, 2018)	Somente exequível para pequenas parcelas ou bacias hidrográficas pequenas (OU et al., 2021).



Os dados podem ser gerados por VANTs de baixo custo e comercialmente disponíveis (KRENZ et al., 2018).	Depende muito da questão meteorológica (por exemplo, muitas vezes prejudicado por ventos de alta velocidade) (OU et al., 2021).
Desenvolvimento de produtos derivados como modelos digitais de terreno ou superfície, ortomosaicos e modelos em 3D, além de perfis longitudinais e transversais da superfície do terreno, e das feições erosivas, assim como o modelo real da sua forma em 2D e 3D.	Demora e exige pré-reconhecimento profissional (OU et al., 2021), pois é necessário algum nível de entendimento da ferramenta para poder usá-la de forma completa.
	A produção dos produtos derivados é feita em outros softwares, e estes nem sempre são gratuitos ou livres, além da necessidade em saber usá-los.
	Impossibilidade de uso em locais de alta periculosidade ou restrito para voo segundo a ANAC (aeroportos, termelétricas etc.).

## 5. Discussão

Considerando as análises sobre as possibilidades e limitações dos monitoramentos de feições erosivas na RMM foi possível observar uma evolução das técnicas em termos técnicos (ficando mais precisas e com uso de tecnologias), contudo, as técnicas mais antigas e mais simples não foram totalmente descartadas em favor das mais recentes. Muitos trabalhos (FROTA FILHO, 2016; 2021; SILVA, 2020; SILVA, 2021) trouxeram uma análise concomitante e integrada entre duas ou mais técnicas, a fim de, justamente, mitigar as limitações individuais. A esse respeito, verifica-se que apesar de algumas técnicas mais atuais como o uso do VANT serem cada vez mais presentes nos monitoramentos de voçorocas, a simplicidade relacionada ao uso de uma trena, bússola, aliada a ficha cadastral, ainda ganha público. Talvez isso se deva, entre outras razões, ao acesso a recursos financeiros para compra e operação de equipamentos como o VANT, assim como para o treinamento para uso e tratamento das imagens geradas.

Os métodos de monitoramento baseados em trabalhos de campo ainda são comuns, e com o advento das fotos aéreas e, posteriormente, com a inclusão das imagens de satélites (que se tornaram mais facilmente disponíveis) (KNIGHT et al., 2007), houve uma difusão de possibilidades de monitoramento. O uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento é uma possibilidade prática e viável para mapear feições erosivas como ravinhas e voçorocas em grandes áreas, dada a variabilidade no tamanho, forma e ocorrência destas incisões.

No que concerne às imagens de satélite e seu uso para monitoramento de voçorocas é algo que remete desde os primeiros satélites, como o trabalho de Singh (1977) que usou as imagens do Landsat-1 para mapeamento de área na escala de 1:250.000. Neste caso, o autor associou mapas topográficos e imagens aéreas, o que resultou na localização e observação do padrão de desenvolvimento e distribuição de voçorocas na área estudada, na qual a maioria destas estavam nas áreas periféricas da bacia, com profundidades que aumentam em direção às áreas mais baixas.

Outro aspecto a ser levado em consideração, refere-se às escalas e resoluções de cada satélite, pois estas determinam seus potenciais e limitações de uso e aplicação ao monitoramento de processos erosivos. Satélites com capacidade de abranger áreas maiores (resolução espacial menor) tendem a ter melhor resolução temporal por conseguirem passar com mais frequência sobre o mesmo alvo, entretanto não sendo possível realizar o monitoramento de feições erosivas, pois não há como analisar em detalhe os processos evolutivos, assim, apenas

quando possível a sua localização e mapeamento. A exemplo disso há os satélites<sup>1</sup> Landsat 1 a 3 (resolução espacial de 80 metros), Landsat 4 a 9 (resolução espacial de 30 metros) e CBERS 3 e 4 (resolução de 20m).

Aqueles com resoluções espaciais melhores como os satélites Landsat 8 (resolução espacial de 30 metros, banda 8 pancromática com resolução de 15 metros), SPOT 1 a 4 (resolução de 10 a 20m), SPOT 6 a 7 (8 a 20 metros), RapidEye (resolução de 6,5 m), QuickBird (resolução de 2,4 a 2,8 m), Ikonos (resolução de 3,2 m a 0,8m), GeoEye (resolução de 1,65 m), WorldView (resolução de 0,50 metros) e ADS 80, este último com resolução de 50 cm, o monitoramento pode ser realizado pelo menos pela delimitação das feições erosivas, podendo ser de maior ou menor detalhe, a depender do tipo de imagem, ainda que se reitere que poucas são as redes de satélite que permitem um monitoramento com precisão dos processos evolutivos das voçorocas. Porém, servem às voçorocas mais recentes, compatíveis com a data de criação dessas imagens, dificultando comparações com situações anteriores.

Para tanto, faz-se necessário distinguir a interpretação por meio de fotos aéreas, imagens de radar e as de satélite. Segundo Fitz (2008) a diferença se encontra basicamente na resolução espectral e na escala de estudo (resolução espacial). Ainda é necessário pontuar que apesar das imagens do *Google Earth (Pro)* serem derivadas de produtos de satélites, estas se diferenciam por não terem fontes e resoluções (espectral, radiométrica, espacial e temporal) conhecidas, muitas vezes sendo mosaicos com imagens de satélites distintos, a depender da área imageada a ser estudada.

A ferramenta tem muitas possibilidades e limitações, algumas além do que se descreve aqui ou nos trabalhos supracitados. Assim, o uso do *Google Earth™* pode ser muito útil para promover aprofundamento geomorfológico (TOOTH, 2013), todavia, faz-se a ressalva que o produto é derivado de imagens de variadas origens, com tratamentos diversos, e isso faz com que o produto disponibilizado pelo *software* não tenha um nível de acurácia bem definido. Ainda assim, serve para se ter uma base, em especial se for associado ao trabalho de gabinete, geoprocessamento, trabalho de campo e análises laboratoriais. Sendo que além da área morfológica e evolução areal, a imagem também pode passar por georreferenciamento em ambiente de SIG permitindo outras análises.

O avanço tecnológico dos imageamentos por meio do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) segundo Krenz e Khun (2018) e Krenz et al. (2019) pode ser a ferramenta a auxiliar na superação da lacuna entre medições terrestres dispendiosas e demoradas, a pouca disponibilidade ou qualidade insuficiente de dados de imagens de resolução grosseira de satélites ou sistemas remotos aéreos e atmosféricos. Ainda que, como ilustrado nos resultados, o Vant em si apenas produz as imagens, o tratamento e análise das mesmas depende de outras técnicas e *softwares*.

Ao fazer o tratamento e sobreposição das imagens obtidas pelo VANT é possível gerar um Modelo Digital de Elevação para analisar as alterações na microtopografia em áreas com erosão. Todavia, a resolução das imagens depende, dentre outras razões, da altitude de voo, que segundo Zhang et al. (2018) a resolução é de 2,22 a 4,23 cm para voos em altitudes entre 50 e 100m, e essa resolução diminuirá com o aumento da altitude. Ainda sobre a resolução de imagens e o nível de detalhe do monitoramento, autores como Knight et al. (2007), Tooth (2013), Krenz e Khun (2018), Krenz et al. (2019) indicam a importância de boas imagens - leia-se, resolução (espacial, temporal, espectral e radiométrica), para a avaliação de qualquer dinâmica natural, em especial a geomorfológica. O que se coaduna com o que foi feito em trabalhos realizados para região de Rio Preto da Eva-AM, Iranduba-AM e Manaus-AM (SILVA, 2020; SILVA, 2021; FROTA FILHO, 2021) por usarem alto detalhamento com imagens obtidas por meio de drones, e sua associação com práticas de campo para subsidiar, verificar e mesmo complementar tais informações, que por sua vez permitiram uma análise mais profícua sobre as feições erosivas que estudaram.

O uso de imagens de satélite espacial e espectral pode complementar a análise (KRENZ; KUHN, 2018), assim como as imagens do *Google Earth™* e do Vant podem ser usadas associadas à ficha cadastral para monitoramento contínuo. Além disso, permitem analisar a área de ocorrência da incisão, até mesmo numa perspectiva histórica, a qual pode ser acompanhada por questões mais específicas, como a determinação do direcionamento da incisão, a caracterização quanto ao tipo (conectada, desconectada e integrada - OLIVEIRA, 1989), a forma (linear, bifurcada, irregular, retangular e ramificada - VIEIRA, 2008), o tamanho (muito grande, grande, média, pequena e muito pequena - VIEIRA; ALBUQUERQUE; 2004), a taxa de crescimento por mês e/ou ano, sendo possível determinar a área (m<sup>2</sup>) e o volume erodido (m<sup>3</sup> ou toneladas). Se associado ao trabalho de campo com aferição da profundidade média da voçoroca e à análise de solo (características morfológicas, físico-químicas e mineralógicas), assim como a

<sup>1</sup> <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/satelites>

associação com os dados de infiltração e de resistência à penetração, as quais podem ser usadas concomitantemente, dentre outras, torna o trabalho mais completo.

Apesar dessas técnicas serem utilizadas para o monitoramento de voçorocas, estas podem ter outras aplicações, como no caso do trabalho de Magalhães (2014), que utilizou a técnica do monitoramento denominada “levantamento por ordenadas” (semelhante à técnica das “Poligonais Planimétricas”) para acompanhar as perdas de margens por erosão no rio Solimões na proximidade da Comunidade do Divino Espírito Santo, em Iranduba-AM. Ou ainda como fez Scuderi et al. (2017), que utilizaram as imagens do *Google Earth* para o monitoramento de dunas, e Boardman (2016) que explica o uso do *Google Earth* (GE) para monitoramento geomorfológico, para além de voçorocas.

Outra questão importante, trazida por Tooth (2013) e Boardman (2016) versa sobre a popularização do uso de imagens de fácil acesso como as disponibilizadas pelo *Google Earth™*, pois possibilitam, tanto aos alunos de graduação com poucos recursos ou mesmo aos professores da educação básica, mostrarem as transformações do relevo, ainda que apenas de forma qualitativa, ou seja, a evolução do relevo e da paisagem, visto que uma caracterização mais profícua necessita de tratamento por geoprocessamento.

Essa disseminação tende a acontecer e já está ocorrendo com o VANT, contudo, as mesmas ressalvas que Tooth (2013) faz sobre o GE podem ser feitas para o VANT, pois o uso dessas ferramentas pode promover pesquisas com profundo entendimento geomorfológico, mas somente se fizerem parte de uma abordagem de estudo integrado que envolva trabalhos de campo, laboratório, geocronologia e técnicas de modelagem. Do contrário, levará a uma concepção superficial, vaga e mesmo errônea de processos geomorfológicos, com geração de imagens visualmente atraentes, mas com pouca melhoria na compreensão de processos, dinâmicas, agentes e forma resultantes ou escalas de tempo de desenvolvimento.

## 6. Conclusões

Ao observar os resultados apresentados envolvendo as 4 técnicas aqui descritas, percebe-se que cada uma trouxe importantes informações sobre as voçorocas da RMM.

A primeira, que utiliza o uso de trena, bússola, ficha cadastral e croqui, apresenta dados que ultrapassam a descrição morfométrica da incisão, pois envolvem entre outras informações, o histórico da ocorrência, danos materiais, danos ambientais, previsão de evolução, medidas de contenção adotadas e até mesmo possíveis custos de contenção. A voçoroca escolhida para exemplificar essa técnica, foi aqui representada pelo croqui enriquecido com imagens de satélite e foto de campo, que combinado com as informações registradas na ficha cadastral, traz um panorama geral do estado da incisão. A segunda técnica, que envolve o uso de poligonais planimétricas, traz uma maior precisão dos contornos da incisão, permitindo assim acompanhar o sentido de evolução desta, ao mesmo tempo que serve para calcular as taxas de erosão conforme período monitorado. A terceira técnica, envolve o uso de imagens de satélite e imagens disponibilizadas no software *Google Earth Pro*, que permite um maior detalhamento e representação da área onde a incisão se desenvolve e através de algumas ferramentas é possível reproduzir a evolução da voçoroca através do tempo (imagens históricas) até o estado atual. E por fim, a quarta técnica, que envolve o uso de imagens de alta resolução espacial obtidas através do VANT, equipamento esse que traz uma maior rapidez para o monitoramento em campo, em tempo real, permitindo também acessar áreas que podem ser consideradas de difícil acesso.

Assim, cada técnica, conforme explicitado nos resultados desse trabalho, apresenta suas respectivas possibilidades e restrições de uso, mas que depende sobretudo da finalidade de cada pesquisa e dos recursos disponíveis. Portanto, os resultados dos monitoramentos estão condicionados ao tipo de técnica utilizada.

Assim, é importante ressaltar que o uso das geotecnologias não significa necessariamente um aprimoramento no processo do monitoramento de feições erosivas, da mesma forma que os métodos tradicionais podem ser tão ou mais úteis e precisos que estes. Visto que para aquele que realiza a pesquisa e levanta os resultados, o importante não é só a aquisição dos dados, mas a sua análise de forma integral, completa e sistêmica, considerando tudo o que pode influenciar no desenvolvimento e aceleração de incisões erosivas do tipo voçorocas. Além disso, ainda que sejam usadas técnicas e metodologias remotas, estas não excluem a necessidade de ir a campo para validar e completar o que se mensurou por meio de imagens de satélites, por exemplo.

Outro ponto importante é que a combinação de diferentes técnicas pode auxiliar no melhor detalhamento e caracterização morfométrica da voçoroca monitorada, assim como das feições secundárias envolvidas. Ainda que estejamos avançando para técnicas cada vez mais sofisticadas, deve-se levar em consideração o ambiente científico-

acadêmico no qual algumas pesquisas são realizadas, onde não se pode, portanto, desacreditar pesquisas realizadas em ambientes onde os recursos e acesso às geotecnologias ainda são escassos se comparados com aqueles desenvolvidos em grandes centros de pesquisas já consolidados.

Dessa maneira, conclui-se que a discussão sobre as diversas abordagens metodológicas para monitoramento de voçorocas na RMM, aqui apresentadas, podem contribuir para nortear estudos nessa temática, a fim de elucidar qual a melhor técnica a depender das características da voçoroca ou das condições de quem desenvolve a pesquisa.

**Contribuições dos Autores:** Concepção, A.F.S.G.V. e A.B.F.F.; metodologia, A.F.S.G.V.; validação, A.F.S.G.V. e A.B.F.F.; análise formal, A.F.S.G.V.; pesquisa, A.F.S.G.V. e A.B.F.F.; preparação de dados, A.F.S.G.V.; escrita do artigo, A.F.S.G.V. e A.B.F.F.; revisão, A.F.S.G.V. e A.B.F.F.; supervisão, A.F.S.G.V. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

**Agradecimentos:** Agradecemos aos laboratórios de Geografia Física e Laboratório de Análise e Tratamento de Sedimentos e Solos – LATOSSOLO, pelos empréstimos do material utilizado em campo (Trena, GPS, Bússola, VANT) e pelo espaço para tratamento dos dados.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

- BATISTA, D.C.L.; VIEIRA, A.F.S.G.; MARINHO, R.R. Uso do " Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 10, n. 20, p. 1-12, 2019.
- BOARDMAN, J. The value of Google Earth™ for erosion mapping. **Catena**. v. 143, p. 123-127, 2016.
- BORRELLI, P.; POESEN, J.; VANMAERCKE, M.; BALLABIO, C.; HERVÁS, J.; MAERKER, M.; SCARPA, S.; PANAGOS, P. Monitoring gully erosion in the European Union: A novel approach based on the Land Use/Cover Area frame survey (LUCAS). **International Soil and Water Conservation Research**. Volume 10, Issue 1, p.17-28, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.09.002>
- CANIL, K.; IWASA, O.Y.; SILVA, W.S. e ALMEIDA, L.E.G. Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. In: 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão (SNCE), 5., 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: ABGE/PMB/UNESP, 1995. p. 249-251
- CARVALHO, D.P. **Ocorrência de voçorocas (gullies) na rodovia BR 174, trecho Manaus-Presidente Figueiredo (AM): gênese, morfologia e previsão de riscos**. 2017. 131f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2017.
- CARVALHO, D.P.; VIEIRA, A.F.S.G. Mapeamento e caracterização de voçorocas na Rodovia BR-174 (Manaus - Presidente Figueiredo/AM). In: VIEIRA, A.F.S.G.; MOLINARI, D.C. (Orgs.). **Geografia Física da Amazônia - Volume 1**. São Paulo/Manaus: Alexa Cultural/EDUA, 2020. p.61-78
- COSTA, S. L. **Elaboração de um instrumento para o ensino de geografia a partir dos recursos do Google Earth®**. 2020. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Ciências Humanas, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.
- D'ÁVILA JUNIOR, J.C.M.; VIEIRA, A.F.S.G. Padrões pluviométricos da cidade de Manaus-AM: 1986 a 2015. In: **Boletim Paulista de Geografia**. n.102, dez. 2019. p.1-31
- DIRANE, A.C.M.; VIEIRA, A.F.S.G. Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçoroca na rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, n.5, 2014. p.60-64.
- DIRANE, A.C.M.; VIEIRA, A.F.S.G. Mapeamento das voçorocas na rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara – AM. In: VIEIRA, A.F.S.G.; MOLINARI, D.C. (Orgs.). **Geografia Física da Amazônia - Volume 1**. São Paulo/Manaus: Alexa Cultural/EDUA, 2020. p.15-27
- DIRANE, A.C.M. **Mapeamento das áreas de risco a voçorocamento e caracterização geoambiental da rodovia AM-010 Manaus/Itacoatiara – AM**. 2016. 106f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2016.
- FISCH, M., MARENGO, J. A. e NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. In: **Acta Amazônica**, v.28, p.101-126, 1998.
- FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos. São Paulo, 2008.
- 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.

15. FROTA FILHO, A.B.; ABREU, N.R.P.; VIEIRA, A.F.S.G. Processo de voçorocamento e feições secundárias: um estudo de caso em Manaus-AM. **Caminhos de Geografia**. v. 21, n. 74. Uberlândia-MG, 2020. p. 313–323
16. FROTA FILHO, A.B.; VIEIRA, A.F.S.G. Monitoramento de voçorocas na bacia Colônia Antônio Aleixo. In: VIEIRA, A.F.S.G.; MOLINARI, D.C. (Orgs.). **Geografia Física da Amazônia - Volume 1**. São Paulo: Alexa Cultural, MANAUS: EDUA, 2020. p.45-59
17. FROTA FILHO, A.B. **Alterações antropogênicas na geomorfologia e suas influências na aceleração dos processos erosivos, bacia hidrográfica colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM**. 2021. 258f. Tese (Doutorado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Instituto de Geociências – IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
18. GALVÃO, T.F.; PEREIRA, M.G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para a sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**. v.23, n.1. Brasília, 2014. p.183-185. Disponível em: <https://scielo.br/j/ress/a/yPKRNymgtzwzWR8cpDmRWQr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20/03/2023
19. GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). **Geomorfologia - Exercícios, Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996. p. 139-155
20. HONÓRIO, B. **Água da chuva na Amazônia Ocidental: química e composição isotópica**. Manaus. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
21. IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais**. Rio de Janeiro: Geologia – Sistema de Informações - SIG, 2010.
22. KNIGHT, J., SPENCER, J., BROOKS, A., PHINN, S. Large-area, high-resolution remote sensing based mapping of alluvial gully erosion in Australia's tropical rivers. **Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference: Australian Rivers: Making a Difference**. Charles Sturt University, Thurgoona, New South Wales, 2007. p. 199–204.
23. KRENZ, J.; GREENWOOD, P.; KUHN, N. J. Soil Degradation Mapping in Drylands Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data. **Soil Systems**, 3(2), 33. 2019. doi:10.3390/soilsystems3020033
24. KRENZ, J.; KUHN, N.J. Assessing Badland Sediment Sources Using Unmanned Aerial Vehicles. **Badlands Dynamics in a Context of Global Change**, 2018. 255–276. doi:10.1016/b978-0-12-813054-4.00008-3
25. KRENZ, J.; GREENWOOD, P.; HECKRATH, G.; KUHN, B.; KUHN, N. (2018, April). Assessing Badland Sediment Sources using UAVs. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2018. p. 8126.
26. LIMA, M. C. **Quando o amanhã vem ontem: a institucionalização da Região Metropolitana de Manaus e a indução ao processo de metropolização do espaço na Amazônia ocidental**. 2014. 298f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2014.
27. LIMA, C.M.R. **Degradação ambiental no espaço urbano de Rio Preto da Eva - AM**. 2020. 19f. Relatório de Pesquisa. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2020.
28. LIMA, C.M.R. **Mapeamento e caracterização das voçorocas na cidade de Rio Preto da Eva – AM**. 2021. 21f. Relatório de Pesquisa. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2021.
29. LOUREIRO, H.A.S. **Diagnóstico de erosão por voçorocas: experimentos com geotecnologias e solos na bacia do Alto rio Pirai - Rio Claro-RJ**. 2019. 224 f. Tese (Doutorado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
30. MAGALHÃES, R.C. **As características físicas, químicas, mineralógicas e hidráulicas do solo e sua susceptibilidade aos processos de terras caídas: Comunidade do Divino Espírito Santo - Iranduba/AM**. 2011. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2011.
31. MOREIRA, E.S.; THOMAZINI, L.S.; NUNES, J.O.R.; FUSHIMI, M.; SANTOS, C.A.M. Análise da ocorrência de feições erosivas lineares na área de proteção ambiental (APA) do Timburi, Presidente Prudente (SP). **GEOGRAFIA**, v. 45, n. 1, jan./jun. 2020. p.163-184
32. OLIVEIRA, M.A.T. Erosion Disconformities and Gully Morphology: A Threedimensional Approach. In: **Catena: an interdisciplinary journal of Soil Science Hydrology – Geomorphology**. Vol. 16. W. Germany: Catena Verlag. 1989. p. 413-423
33. OLIVEIRA, M.A.T.; MEIS, M.R.M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). **Geociências**. nº 4. São Paulo, 1985. p.87-99
34. OLIVEIRA, M.A.T.; VIEIRA, A.F.G.; POSSAS, H.P.; PAISANI, J.C.; LOPES, L.J.; LIMA, M.S.B.; PONTELLI, M.E. Evolução de voçorocas e integração de Canais em áreas de cabeceira de drenagem: município de Resende, RJ. In: I Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), 1., 1996, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Revista Sociedade & Natureza, EDUFU. 1996. p. 211-213
35. OU, X.; HU, Y.; LI, X.; GUO, S.; LIU, B. Advancements and challenges in rill formation, morphology, measurement and modeling. **CATENA**, 196. 2021. , 104932. doi:10.1016/j.catena.2020.104932
36. SANTOS, T.S. **Monitoramento de voçorocas na rodovia AM-352, trecho Manacapuru-Novo Airão (AM)**. 2010. 45f. Monografia (Bacharelado em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2010.

37. SCUDERI, L. A., WEISSMANN, G. S., HARTLEY, A. J., YANG, X., & LANCASTER, N. . Application of database approaches to the study of Earth's aeolian environments: community needs and goals. **Aeolian research**, 27, 79-109. 2017.
38. SHRUTHI, R. B. V., KERLE, N.; JETTEN, V. Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. **Geomorphology**. 134(3-4). 2011. p.260 - 268. doi:10.1016/j.geomorph.2011.07.003
39. SILVA, C.L. **Análise da tectônica Cenozóica da região de Manaus e adjacências**. 2005. 309f. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2005.
40. SILVA, D.M. **Análise da ocorrência de voçorocas na rodovia AM-352, no Amazonas**. 2013. 37f. Relatório de Pesquisa. Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2013.
41. SILVA, E.D. **Causas e consequências da ocorrência de voçorocas nas estradas AM-330 (Silves) e AM-363 (Itapiranga), Amazonas-Brasil**. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2014.
42. SILVA, I.N. **Geomorfologia e planejamento ambiental: identificação e monitoramento de voçorocas no sítio urbano de Iranduba/AM**. 2020. 166f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2020.
43. SILVA, I.N.; VIEIRA, A.F.S.G. Monitoramento de voçoroca no sítio urbano de Iranduba – AM. In: VIEIRA, A.F.S.G.; MOLINARI, D.C. (Orgs.). **Geografia Física da Amazônia - Volume 1**. São Paulo/Manaus: Alexa Cultural/EDUA, 2020. p.71-88
44. SILVA, G.M. **Geomorfologia aplicada à caracterização da vulnerabilidade à erosão em Rio Preto da Eva (AM)**. 2021. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2021.
45. SILVA, G.M.; VIEIRA, A.F.S.G. Mapeamento de voçorocas na cidade de Rio Preto da Eva (AM). **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 11, 2020. p. 517-531.
46. SILVA, G.M.; VIEIRA, A.F.S.G.; ALVES, A.S. Análise da ocupação da terra em área de risco: um estudo de caso no Bairro Nova Cidade, Manaus-AM. **Caderno de Geografia**. v.33, n.7, 2023. p.93-109
47. SINGH, B.M. Interpretation of satellite imagery for delineation of ravines. **Journal of Indian Society of Remote Sensing**. 1. 1977. p.31-34.
48. TOOTH, S. Google Earth™ in Geomorphology: Re-Enchanting, Revolutionizing, or Just another Resource? **Treatise on Geomorphology**. 2013. p.53-64. doi:10.1016/b978-0-12-374739-6.00372-9
49. TROPPIAIR, H. **Biogeografia e meio ambiente**. 9 ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 2012. 281p.
50. VIEIRA, A.F.G.; ALBUQUERQUE, A.R.C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia (SINAGEO/ESG), 5., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UGB/UFSM, 2004. p. 50-65
51. VIEIRA, A.F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM)**. 1998. 181f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1998.
52. VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impacto urbano ambientais**. 2008. 310f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2008.
53. VIEIRA, A.F.S.G.; LIMA, C.M.R.; SILVA, G.M. Caracterização das voçorocas da área urbana de Rio Preto da Eva (AM), Norte do Brasil. **Geologia USP, Série Científica**, São Paulo, v. 22, n. 4, 2022. p. 9-107
54. XU, Q.; KOU, P.; WANG, C.; YUNUS, A.P.; XU, J.; PENG, S.; HE, C. Evaluation of gully head retreat and fill rates based on high-resolution satellite images in the loess region of China. **Environmental Earth Sciences**. 78(15). 2019. doi:10.1007/s12665-019-8483-x
55. ZHANG, C.B., YANG, S.T., ZHAP, C.S., LOU, H.Z., ZHANG, Y.C., BAI, J., WANG, Z.W., GUAN, Y.B., ZHANG, Y., 2018. Topography Data Accuracy Verification of Small Consumer UAV. **J. Remote Sens**. 22, 185-195. <http://doi.org/10.11834/jrs.20186483>



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.