

ANÁLISE DA DINÂMICA EVOLUTIVA DE UMA VOÇOROCA NO DISTRITO DE SUMARÉ EM PARANAÍ – PR

MARIA CAROLINA BECKHAUSER

Mestre em Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR¹
mariacarolinabeckhauser@hotmail.com

HÉLIO SILVEIRA

Doutor em Geociências e Meio Ambiente, Docente do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR²
hesilveira70@hotmail.com

MARIA CLEIDE BALDO

Doutora em Geografia, Docente do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão-PR³
caio@ufr.edu.br

RESUMO: O município de Paranaíba apresenta sérios problemas de erosões em virtude do aspecto natural dos solos, oriundos dos arenitos da Formação Caiuá, juntamente com o manejo aplicado na área. O objetivo desse trabalho é compreender o processo de evolução de uma voçoroca situada no distrito de Sumaré em Paranaíba-PR – Brasil utilizando dados pluviométricos e imagens aéreas. Foi utilizado como metodologia o levantamento de imagens de satélite do ITCG no ano de 1980, do Google Earth Pro dos anos de 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019, imagens obtidas pelo VANT dos anos de 2018 e 2020. Com base nessas informações, elaborou-se os mapas de fluxo hídrico e hipsométrico. Foram analisados os dados diários, mensais e anuais de pluviosidade dos anos de 1976 a 2018. Os resultados mostraram que o ano de 2015 foi o mais chuvoso, e com base na análise das imagens foi quando a voçoroca mais evoluiu, devido o fluxo hídrico concentrado.

Palavras-chaves: Voçoroca; Dados pluviométricos; Imagens áreas; Imagens de satélite.

ANALYSIS OF THE EVOLUTIONARY DYNAMICS OF A GULLY IN THE DISTRICT OF SUMARÉ IN PARANAÍ – PR

ABSTRACT: The city of Paranaíba presents several erosions in the landscape, such problems are due to the natural aspect of the soils, coming from the sandstones of the Caiuá Formation, together with the management applied in the area. Therefore, the goal of this work is to understand the evolution process of a gully located in the district of Sumaré in Paranaíba-PR - Brazil, using rainfall data and aerial and satellite images. It was used as methodology the survey of satellite images from do ITCG of the year 1980, do Google Earth Pro the years 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019 and area images obtained by the UAV of the years 2018 and 2020. Based on this information, we elaborated the maps. There was an analysis of the rainfall data from 1976 to 2018. The results showed that 2015 was the rainiest year and, based on the analysis of the images, was when the gully increased the most, due to the concentrated water flow.

Keywords: Gully; Rainfall data; Image areas; Satellite images.

ANÁLISIS DE LA DINÂMICA EVOLUTIVA DE UNA VOÇOROCA EN EL DISTRITO DE SUMARÉ EN PARANAÍ – PR

RESUMEN: El municipio de Paranaíba, presenta varias erosiones en el paisaje, tales problemas se deben al aspecto natural de los suelos, de las areniscas de la Formación Caiuá, junto con el manejo aplicado en la zona. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es comprender el proceso de evolución de una voçoroca ubicada en el distrito de Sumaré en Paranaíba-PR – Brasil, utilizando datos de lluvia e imágenes aéreas y de satélite. Utilizando como metodología levantamiento de imágenes satelitales do ITCG de lo año 1980, e do Google Earth Pro de los años 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018, 2019, imágenes de área obtenidas por el UAV de los años 2018 y 2020, en base a esta información, se elaboraron mapas. Hubo un análisis de los datos de lluvia de 1976 a 2018. Los resultados mostraron que el 2015 fue el año más lluvioso y según el análisis de las imágenes fue cuando más aumentó la voçoroca, debido al flujo de agua concentrado.

Palabras llave: Voçoroca; Datos de precipitaciones; Imágenes aéreas; Imágenes de satélite.

¹ Endereço para correspondência: Rua Hercílio Luz, 279, Jardim São Jorge, CEP 87710-280, Paranaíba-PR, Brasil.

² Endereço para correspondência: Av. Colombo, 5790, Bloco J12, Jd. Universitário, CEP: 87020-900, Maringá, PR - Brasil.

³ Endereço para correspondência: Via Rosalina Maria dos Santos, 1233, CEP 87301-899, Campo Mourão, PR - Brasil.

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos faz parte da dinâmica natural do ambiente, porém nos últimos anos vem sendo acelerada devido as interferências antrópicas sobre o meio natural. Tais interferências envolvem a retirada da cobertura vegetal, atividades mineradoras, construções de estradas e rodovias e a agricultura sem o manejo adequado.

Conforme Viera (2008) destacou em seus estudos, uma voçoroca é caracterizada como uma erosão de grande escala, onde o fluxo hídrico é o principal agente modelador. Os períodos de chuvas intensas potencializam a dinâmica erosiva da área, podendo comprometer propriedades agrícolas e a ocupação e estrutura dos espaços urbanos.

A região Noroeste do Paraná apresenta vários problemas decorrentes da dinâmica erosiva, que se devem, em partes, ao aspecto natural dos solos que possuem textura média e arenosa, oriundos dos arenitos da Formação Caiuá (MINEROPAR, 2001).

O processo de ocupação da região Noroeste do Paraná ocorreu inicialmente pela expansão da cafeicultura, porém em meados da década de 1970 houve uma mudança no uso e ocupação do solo na região, os proprietários agrícolas foram substituindo a lavoura de café por pastagens, citrus, mandioca e a cultura da cana de açúcar. Tais modificações, quando sem aplicação do manejo correto, possibilita condições ideais para o surgimento e a evolução de processos erosivos, como foi observado por (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985).

O município de Paranavaí apresenta inúmeros processos erosivos no seu território em diferentes tamanhos. Portanto, o objetivo principal desse trabalho é compreender o processo de evolução de uma voçoroca situada no distrito de Sumaré em Paranavaí-PR – Brasil, utilizando dados pluviométricos e imagens aéreas e de satélites.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado na região Noroeste do Paraná, o município de Paranavaí encontra-se entre as latitudes 22°35'25" e 23°09'23" Sul e nas longitudes 52°17'47" e 52°46'58" Oeste, e possui uma área de 1.202,151 Km² com altitude média de 470 metros (IPARDES, 2019).

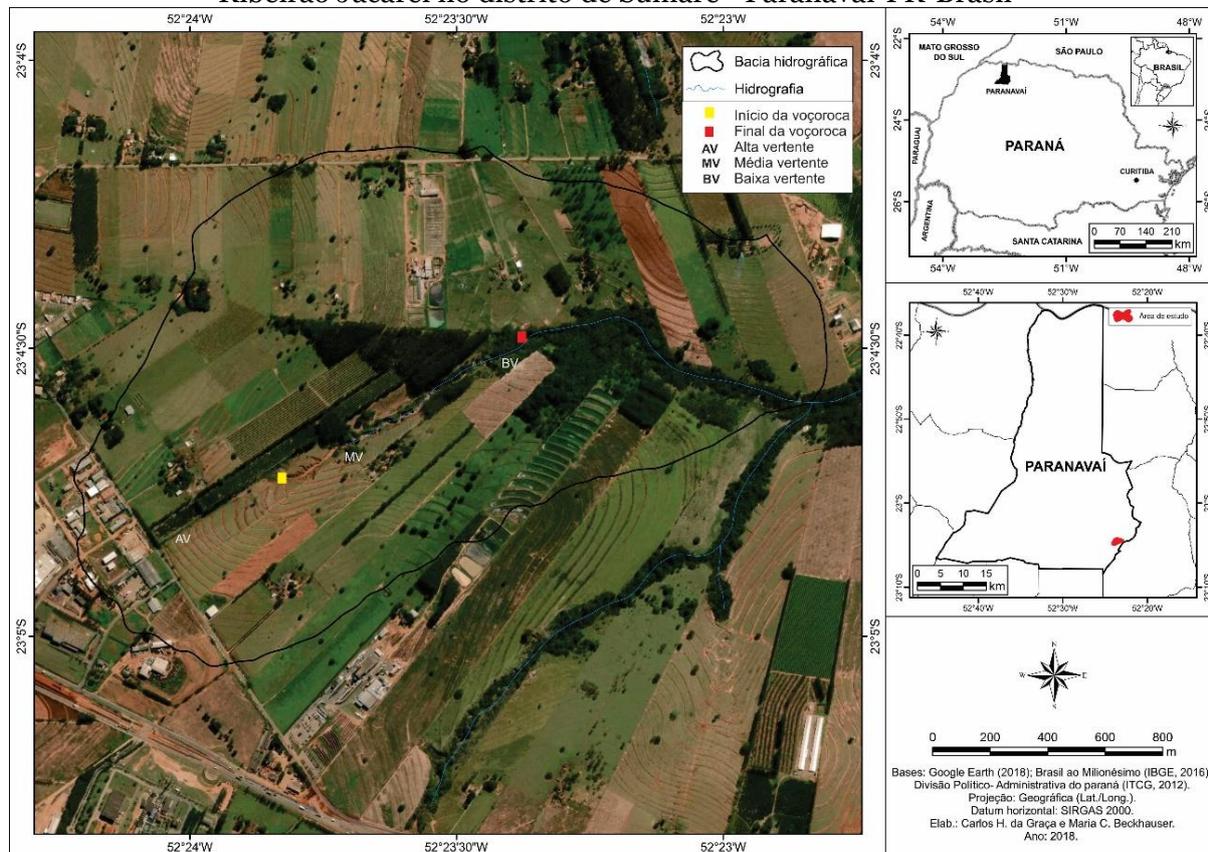
A voçoroca estudada está localizada no distrito de Sumaré, que pertence ao município de Paranavaí – PR, em uma bacia de primeira ordem de ramificação tributária do Ribeirão Jacareí, segundo a hierarquia proposta por Strahler (1957). A área de estudo está situada entre as coordenadas geográficas de 23°04'6.33" e 23°04'57.93" de latitude Sul e 52°22'51,27" e 52°24'12.86" de longitude Oeste (Figura 1).

Conforme Maack (2012), a região Noroeste do Paraná está inserida no Terceiro Planalto Paranaense. De acordo com a Mineropar (2001) nessa região, no período Jurássico-Triássico da Era Mesozoica ocorreu derramamentos de magmas básicos decorrentes de um processo de vulcanismo fissural. Sobre esse derramamento houve a deposição sedimentar arenosa denominada atualmente como o arenito da Formação Caiuá, Grupo Caiuá (Cretáceo).

Conforme Gasparetto (1999), o relevo na região Noroeste é uniforme e pouco dissecado, exceto nas cabeceiras dos principais rios, no mais apresenta características de extensos espigões levemente ondulados com vertentes convexas de baixa declividade. Bigarella e Mazuchowski (1985) atribuiu a formação do relevo da região a uma alternância de processos morfogenéticos em diferentes morfoclimas do Cenozóico.

As principais classes de solos encontradas no município de Paranavaí são formadas a partir da alteração do arenito da Formação Caiuá. Os Latossolos Vermelhos de textura média, Argissolos Vermelho típicos ou abruptos também de textura média, os Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos Háplicos (FASOLO, 1988; NAKASHIMA, 1999; EMBRAPA, 2007).

Figura 1: Mapa de localização da voçoroca na bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí no distrito de Sumaré - Paranavaí-PR-Brasil



Fonte: Graça, C. H. e Beckauser, M. C. (2018).

No que se refere as características climáticas do Noroeste do Paraná, de acordo com a Classificação de Köppen (1936) o clima é Cfa, subtropical úmido mesotérmico com verões quentes e úmidos (CAVIGLIONE et al., 2000). As médias térmicas nos meses mais quentes são de 28,4°C e nos meses mais frios são de 17,8°C. A precipitação média para o período de 1975 a 2018 é de 1527mm/ano (IAPAR, 2018).

Dessa forma, as formações fitogeográficas nativas presentes no município, segundo Roderjan et al., (2002) é a Floresta Estacional Semidecidual, que possui como particularidade as perdas de 20% a 50% das folhas durante o outono e inverno, caracterizando um fator ecológico de dupla estacionalidade climática.

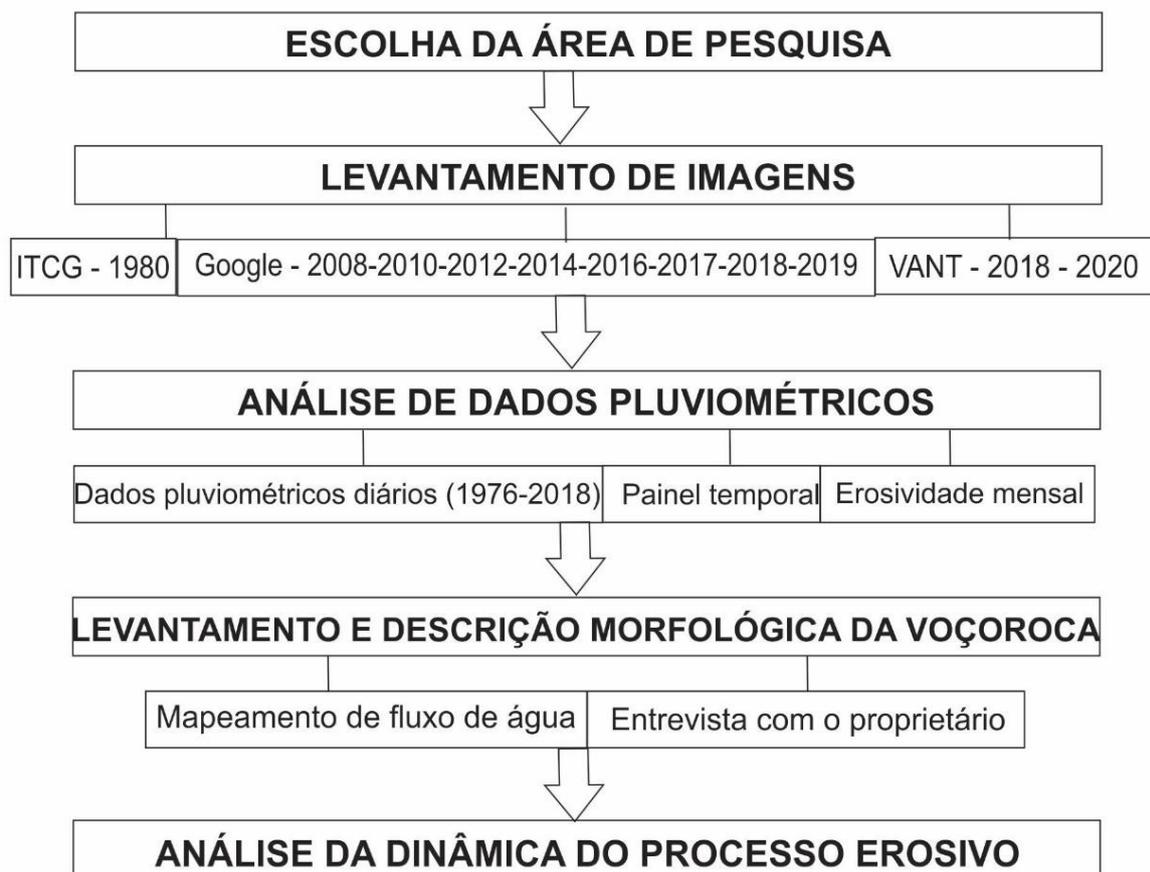
Segundo o IBGE (2010), a economia do município desde cinco décadas atrás baseava-se em atividades como café, pecuária e diversos gêneros alimentícios. Atualmente a agropecuária fica em um setor de menor importância na economia, destacando-se as atividades de comércio e serviços e o setor que envolve as indústrias, tal fato ajuda a explicar o maior contingente populacional no perímetro urbano.

Conforme os dados apresentados pelo IBGE (2019), a população total de Paranavaí em 2018 é de 87.813 habitantes distribuídos em 1.202.151 Km², com uma densidade demográfica de 73 habitantes por Km². Conforme o IBGE (2010), o município possui um alto grau de urbanização, com 77.728 habitantes na área urbana e apenas 3.862 habitantes na área rural.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo utilizou-se alguns procedimentos e técnicas com o intuito de entender o processo de evolução de uma voçoroca ativa nas classes de solos (Latosolos – Argissolos – Neossolos Quartzarênicos) oriundos do arenito da Formação Caiuá, conforme mostra a figura 2.

Figura 2: Fluxograma metodológico



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Escolha da área de pesquisa

A região Noroeste do Paraná apresenta diversas problemáticas oriundas do desenvolvimento de processos erosivos, tendo em vista este cenário, foi selecionada uma forma erosiva (voçoroca), localizada no distrito de Sumaré em Paranavaí. A voçoroca em estudo se desenvolve ao longo de um vale em berço, com uma cabeceira de drenagem ampla.

No interflúvio da bacia hidrográfica, devido ao processo de urbanização, ocorre a concentração do fluxo de drenagem que interfere na dinâmica da voçoroca. Por meio de imagens de satélites identificou-se uma rápida evolução da mesma, que está avançando para área industrial, com potencial de ampliar os impactos sociais, econômicos e ambientais.

Levantamento de imagens

Para compreender a evolução temporal do processo erosivo e quantificar o avanço, levantou-se as fotografias aéreas no site do Instituto de Terras Cartografia e Geologia do

Paraná (ITCG), das seguintes folhas SF-22-Y-A-VI MI-2226, SF-22-Y-B-V MI-2727 do ano de 1980. Para compor o mosaico (formato *tif.*) utilizou-se o software *Image Composite Editor*. O mosaico obtido originalmente com a projeção Datum WSG 84, UTM zona 22 sul, foi importado do programa Q.GIS 2.14, na escala 1:25.000 e projetado para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 EPSG 4674, para que as imperfeições fossem minimizadas.

Posteriormente, utilizou-se imagens de satélites fornecidas pelo programa Google Earth Pro na escala 1:50.000, nos anos de 2008-2010-2012-2014-2016-2017-2019. As imagens foram tratadas, identificadas e organizadas em formato de linha do tempo através do programa Core Draw X8.

Para realizar o monitoramento do avanço do processo erosivo e a elaboração de produtos cartográficos com maior precisão de dados, utilizou-se a técnica de aerofotogrametria em imagens de alta resolução com o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), com voos realizados em parceria com a empresa Falcon Farms de Maringá.

Os voos aconteceram em dezembro de 2018 e janeiro de 2020. A aeronave utilizada foi o MaptorAgro/Horus Aeronaves (Figura 3) que apresenta como características, alta autonomia de voo (cerca de 80 minutos), grande cobertura de área (cerca de 2.500 ha/dia) e voos automatizados guiados via telemetria e GPS embarcado com sistema GNSS (Global Navigation Satellite System).

Figura 3: Imagem ilustrativa da MaptorAgro/Horus Aeronaves, modelo de VANT utilizado



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Utilizou-se o software Mission Planner para planejar os voos, definir os parâmetros ao longo do trajeto e a sobreposição das imagens. As imagens foram capturadas a partir da câmera RGB (Red, Green e Blue) Canon com resolução de 20 mega/pixel adaptada ao modelo de VANT utilizado, através da captura automática com uma foto tirada a cada 2 segundos.

As imagens foram georreferenciadas, adicionando informações de latitude, longitude e cota altimétrica no conjunto de imagens. O processo foi realizado diretamente no software Mission Planner utilizando as informações do Geotags registrados por voos. Após o georreferenciamento das imagens, deu-se início ao processo de junção utilizando o software

Agisoft Photoscan Professional, onde foram realizadas as rotinas de Alinhamento de Fotos (Tie Points) a fim de construir um modelo 3D, com DEM (Digital Elevation Model) e um Ortomosaico da área.

Realizou-se o traçado topográfico com resolução espacial de 8 cm/pixel no formato raster *.tif, gerados a partir do software ArcGis/ArcMap 10.4.1. O modelo hipsométrico foi elaborado com equidistância de um (1) metro entre as curvas de nível e as classes de declividade/relevo seguiram os procedimentos estabelecidos pela EMBRAPA (2017).

Análise dos dados pluviométricos

Os dados diários de pluviosidade do período de 1976 a 2018 foram obtidos no Instituto das Águas do Paraná - Sistema de Informações Hidrológicas – SIH. O posto pluviométrico utilizado foi o da Estação Criação Estado, este apresenta o código 2352017 localizado no distrito de Sumaré em Paranaíba-PR na latitude 23°04'59" e longitude 52°25'59" e altitude de 480 metros. Este foi escolhido pela proximidade da área de estudo e ser uma série histórica com mais de 30 anos de dados.

Tratamento dos dados

A primeira etapa do trabalho consistiu na organização e conferência dos dados através de planilha eletrônica para detectar possíveis problemas existentes na série histórica. Nesta série não houve necessidade de preenchimento de dados faltantes.

Finalizada a etapa acima mencionada, iniciou-se o tratamento preliminar dos dados para uma análise exploratória através da estatística descritiva, para todas as escalas de análises (mensal, anual e diária). Iniciou-se pela escala mensal e, posteriormente anual, para visualizar a estrutura da distribuição da precipitação ao longo do tempo, desde a média climatológica até os valores acumulados diários, com intuito de “tentar” correlacionar o avanço dos processos erosivos, da área de estudo, com os anos “atípicos” (valores acima da média).

Painel temporal do total mensal de dias com chuva

Para a elaboração do painel dos totais mensais, anuais e média de dias com chuva, foram utilizados os dados correspondentes ao período de 1976 a 2018. A planilha foi elaborada seguindo uma sequência contínua e ordenada dos meses e de cada ano da série histórica, mostrando desta forma a variabilidade pluvial e os padrões predominantes numa escala mensal ao longo do ano.

O painel temporal proporciona a visualização da variação dos dias com chuva dentro de todo período analisado, desta forma propicia uma análise metódica para cada ano da série.

Para Sant’Anna Neto (1990), a grande vantagem do painel espaço-temporal é de representar, concomitantemente da variação temporal dos fenômenos climáticos num eixo espacial, tornando possível a visualização de diferentes feições, contribuindo para a análise sistêmica do espaço geográfico.

Para determinar o número de classes de dias com chuva foi aplicado à fórmula Sturges (1926, apud GERARDI e SILVA, 1981).

$$K = 1 + 33,3 \log_{10} N.$$

Erosividade mensal da chuva

Os dados foram acumulados mensalmente e anualmente, possibilitando assim a obtenção das médias de precipitação para cada mês do ano (p) e também a média anual na série histórica (P). A partir destas médias determinou-se o coeficiente de chuva (Rc), por meio da Equação de Rufino et al. (1993);

$$Rc=p2/P$$

Onde:

Rc: Coeficiente de chuva;

p: média da precipitação mensal no período;

P: média da precipitação anual no período.

A equação de regressão utilizada foi ($Y=164,12+39,44X$) obtida por Netto, Virgens Filho, Neves (2018).

Levantamento de descrição morfológica da voçoroca

Para melhor compreensão da dinâmica do processo erosivo encontrado na bacia de 1º ordem, inicialmente foi realizado um sobrevoo com um veículo aéreo na tripulável (VANT). Através das imagens produzidas nesse aparelho foi possível mapear o uso do solo, a voçoroca, realizar o levantamento planialtimétrico e, em seguida, produzir o mapa de fluxo hídrico e hipsométrico.

Realizou-se uma entrevista com o proprietário do sítio onde encontra-se instalada a voçoroca a fim de compreender o processo histórico de uso e manejo da área, buscando relações com as imagens aéreas dos períodos selecionados. Todos esses dados em conjunto forneceram subsídios para entender a dinâmica da evolução da voçoroca, relacionando as classes de solos, o escoamento hídrico e o manejo empregado na área.

Análise da dinâmica do processo erosivo

Com base em todos os dados levantados durante a pesquisa, tais como: o levantamento de imagens aéreas, o monitoramento com o VANT, mapeamento de fluxo hídrico da bacia, entrevista com o proprietário e a análise dos dados pluviométricos, serviram de bases para a discussão da dinâmica erosiva da voçoroca.

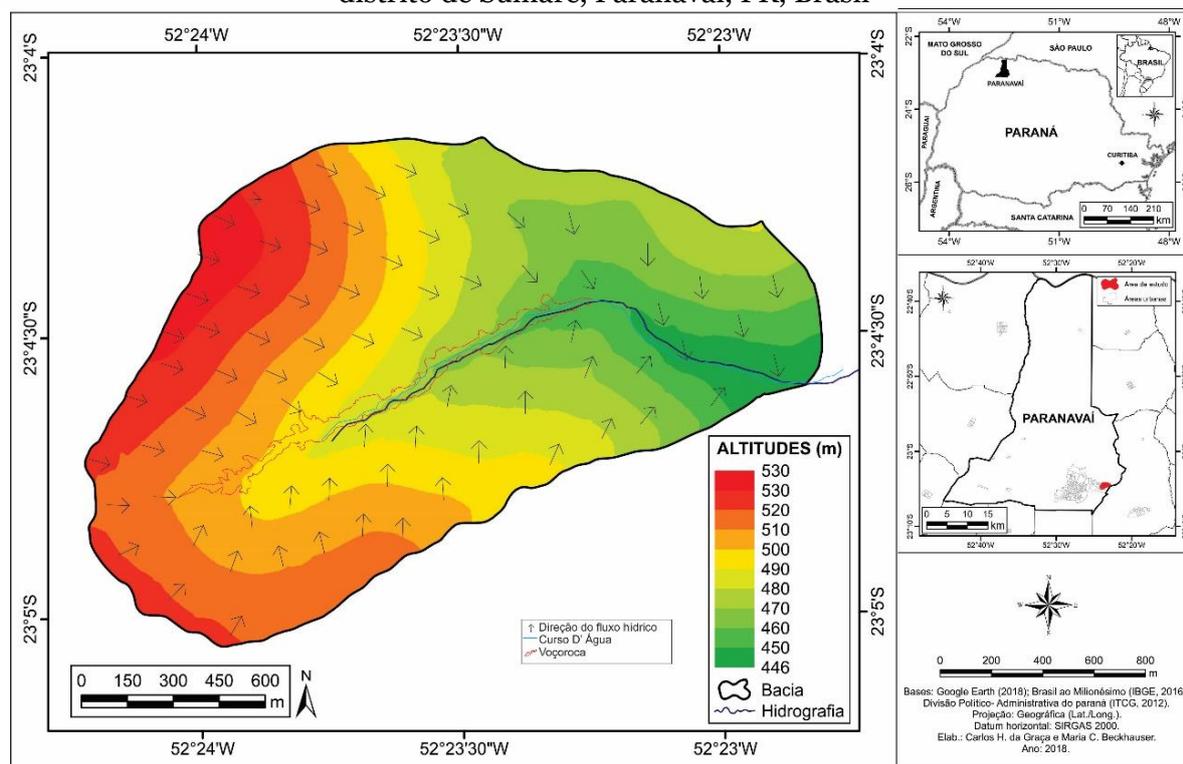
Através desse banco de dados foi possível compreender a dinâmica do avanço lateral e vertical da voçoroca ao longo do tempo, para então, posteriormente, associar essa evolução com as características pedológicas, o uso e manejo dos solos e a dinâmica hídrica.

RESULTADOS

A voçoroca em estudo atualmente apresenta 950 metros de extensão e possui características morfológicas distintas, ou seja, no setor à montante apresenta ramificações e profundidade moderada, enquanto em direção ao sopé a profundidade aumenta e sua forma apresenta um formato mais retilíneo.

Conforme mostra a figura 4, é possível verificar que os pontos localizados a noroeste e a sudoeste, no divisor de águas da bacia, recebem um fluxo hídrico mais disperso, devido a forma da vertente, sendo esta aberta com um vale em berço, algo que é característico da região Noroeste do Paraná. A partir da média vertente, as bordas da voçoroca estão em evidência, devido a dinâmica do processo erosivo que ainda apresenta estágios evolutivos. Em direção ao sopé da vertente, o fluxo de água se concentra decorrente da morfologia da vertente, e é nesse segmento que a capacidade de remoção de material é aumentada (Figura 4).

Figura 4: Mapa de fluxo hídrico da bacia de primeira ordem tributária do Ribeirão Jacareí, distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Segundo os dados obtidos na entrevista com o agricultor Sergio Aleste, a sua propriedade possui 20 alqueires. Segundo o proprietário, o processo erosivo sempre esteve presente na sua área, porém situava-se na parte baixa do lote, muito próximo do curso d'água e apresentava dimensões reduzidas. Conforme apresentado na figura 5, é possível verificar que o processo erosivo se encontrava inicialmente no sopé da vertente no ano de 1980. De acordo com o relato do proprietário, a área já foi ocupada por café, plantio de amora e mais recentemente está destinada a pastagens, mas no sopé da vertente, no entorno do curso d'água, sempre existiu alguns resquícios de vegetação nativa.

Figura 5: Imagem da voçoroca no ano de 1980.



Fonte: ITCG, 2019.

Segundo Silva (2014), o distrito de Sumaré pertencia ao município de Alto Paraná, mas a partir de 21 de maio de 1963, por intermédio da lei estadual nº 4717, o distrito passa a pertencer à Paranavaí. Inicialmente, nessa localidade, havia apenas atividade agropecuária, porém, a partir de meados de 1980 surge a atividade industrial que contribuiu de forma significativa para alterar o uso e ocupação do solo no local, que de certa forma interferiu de forma negativa para acelerar evolução da erosão que, naquele momento era quase incipiente.

Essa mudança de uso do solo provocou uma diminuição da infiltração de água no solo e aumento do escoamento superficial em direção a propriedade agrícola do agricultor. O que de maneira geral contribuiu para alterar a dinâmica erosiva da área ao longo do tempo.

Vale destacar que muitos outros fatores como comprimento de vertente de 1322 metros, declividade de 31 metros, as classes de solos dos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos, a ausência de cobertura vegetal que deixa o solo exposto, entre outros, irão interferir na formação da erosão. Também é necessário elencar a interferência da ação antrópica, que através do uso e manejo do solo, sem práticas conservacionistas, acelera o processo erosivo.

Devido essas alterações pela ação humana, o escoamento hídrico superficial da área foi modificado. Segundo o proprietário, há aproximadamente 30 anos atrás ocorreu a pavimentação asfáltica da estrada à montante da propriedade e parte do escoamento hídrico superficial foi canalizado para dentro do sítio. Essa concentração de água em períodos de chuvas mais intensas começou a contribuir para a evolução remontante da feição erosiva.

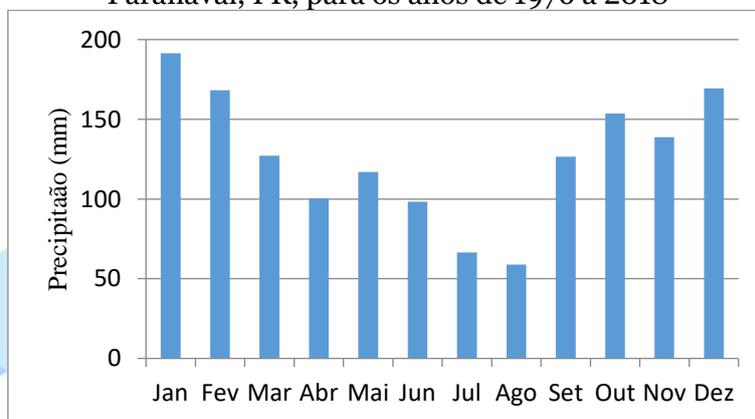
Diante desse cenário surgiu a necessidade de implantação de práticas conservacionistas, inicialmente com a construção de terraços em nível a montante até as proximidades da borda das feições erosivas, a fim de minimizar a força da água e o carregamento dos solos.

Porém, essa situação piora quando em meados de 2009 a 2010 ocorre a implantação da segunda tubulação de cimento (manilha), aumentando canalização da água pluvial para dentro da propriedade, contribuindo para o aumento expressivo da feição erosiva, enquadrando-a como voçoroca.

Dinâmica pluviométrica

De acordo com os dados médios mensais pluviométricos (Figura 6), os maiores valores de chuva são registrados em janeiro, fevereiro e dezembro, estes representam, considerando o ano civil, tanto o verão quanto a primavera, ou seja, as duas estações mais chuvosas na área de estudo. Portanto, na estação do verão e da primavera são as estações mais críticas no que se refere ao risco de instalação dos processos erosivos nessa região onde os solos apresentam textura média e arenosa.

Figura 6: Precipitação média mensal de toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, para os anos de 1976 a 2018



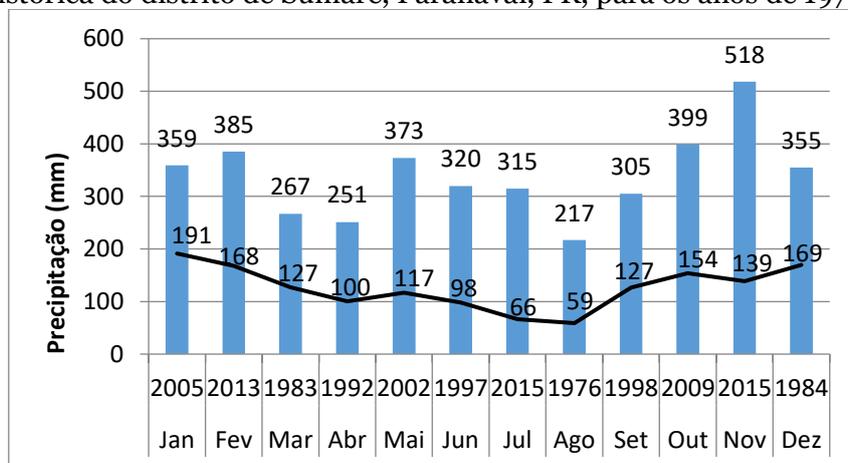
Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Nos meses de julho e agosto são os dois meses que apresentaram os menores valores, resultado esperado considerando que o posto pluviométrico está localizado no noroeste do estado do Paraná, que segundo classificação atualizada pelo método de Köppen por Caviglione et al. (2000), nesta porção do estado ocorre o predomínio do clima Cfa - Clima subtropical, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

É de suma importância analisar os valores máximos mensais de precipitação, considerando que, além da precipitação ser o elemento climático que mais varia no tempo e no espaço, é um dos elementos que contribuem para a formação e desenvolvimento dos processos erosivos, através da erosividade da chuva.

Quando comparado os valores máximos com a média mensal pluviométrica, percebeu-se em alguns meses os valores foram acima da média, com destaque para o mês de novembro (2015), como mostra a figura 7.

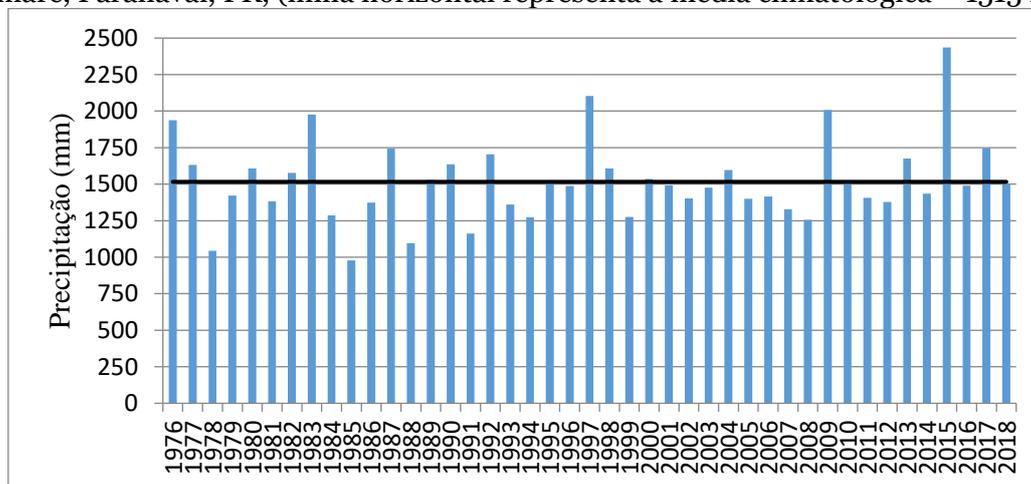
Figura 7: Precipitação máxima absoluta mensal e a média mensal (linha preta) de toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranaíba, PR, para os anos de 1976 a 2018



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Diante desse cenário se faz necessário levar em consideração a média anual pluviométrica observada no distrito de Sumaré em 1515 mm e analisar os totais anuais individualmente, para toda série. Pode-se verificar que os anos de 1976, 1983, 1997, 2009 e 2015 apresentaram os maiores valores de todo o período, ficando acima da média pluviométrica, sendo 2015 o mais representativo entre eles, com mais de 2400 mm (Figura 8).

Figura 8: Precipitação total anual para toda a série histórica 1976 a 2018 do distrito de Sumaré, Paranaíba, PR, (linha horizontal representa a média climatológica – 1515 mm)



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

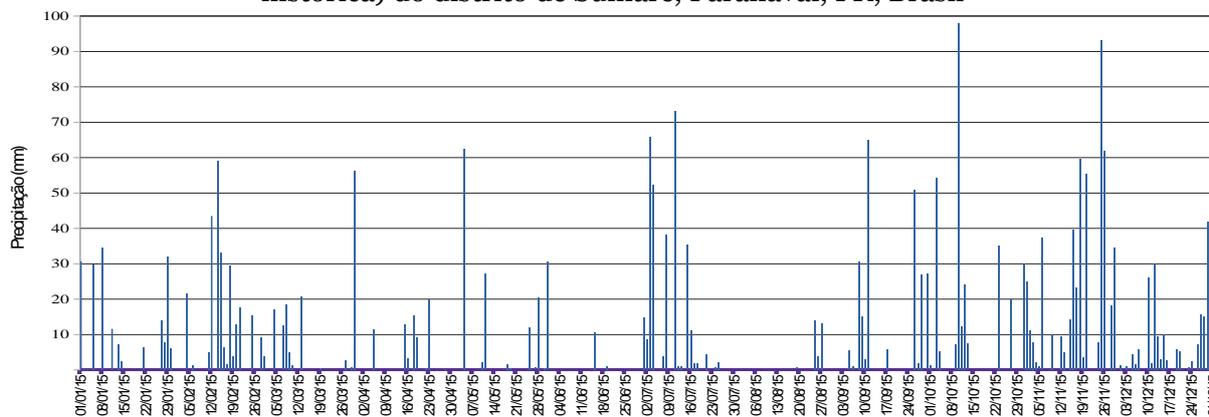
No período de 1976 a 1994, em quatro anos específicos, apresentaram valores abaixo de 1250 mm (1978, 1985, 1988, 1991), a partir do ano de 1995, não foi registrado valores abaixo de 1250 mm, é uma informação relevante para ser explorada (Figura 8). Embora mostrando um aumento nos totais anuais precipitados, não é possível verificar tendência positiva, ou seja, aumento na quantidade nos últimos 24 anos, porque nenhum teste estatístico de tendência foi aplicado, por não ser o objetivo do presente trabalho, ficando para posteriormente uma análise mais meticulosa. Como mostra a figura 8, nos anos de 2009 até 2018 as médias anuais ficaram todas acima de 1250 mm.

Através da análise dos totais anuais foi confirmado que o ano de 2015 foi o que apresentou os maiores valores registrados de toda a série estudada, por isso este ano foi escolhido para uma análise diária. Não somente pelo total anual se deve a escolha, mas por ter sido este muito atípico no que se refere à distribuição da precipitação ao longo do ano, muito diferente do padrão climatológico.

Quando se tem em mente verificar e dimensionar a perda de solo de um determinado local, o ideal seria utilizar dados horários e de preferência o mais próximo possível da área de estudo. Porém, devido à indisponibilidade de dados horários, fica válida a análise dos dados diários. É importante destacar que estes são acumulados no período de 24 horas, não sendo possível quantificar a intensidade da chuva.

Foram observados aproximadamente 25 episódios de chuva acumulada na escala diária com valores superiores a 30 mm no ano de 2015. O mês de julho é o segundo mês mais seco, de toda a série, e neste ano, vários episódios acima de 70 mm a mais foram registrados, como 09/07/2015, 08/10/2015 e 26/11/2015. A maior quantidade de episódios, com maiores valores acumulados diários, ocorreu em setembro, outubro e novembro com valores acima de 50 mm e outubro com quase 100 mm (Figura 9).

Figura 9: Precipitação acumulada diária do ano de 2015 (o mais chuvoso de toda a série histórica) do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Na Tabela 1 é possível visualizar a quantidade de dias com chuva no mês, a média pluviométrica e o total anual. O painel temporal propicia, através das cores das classes de intervalos, uma visualização geral de toda a série histórica.

A maior quantidade de dias com chuva, de 20 a 25 dias, foram observados nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, coincidindo com o período mais chuvoso da área de estudo, mas isto não é uma regra.

Os meses de julho e agosto apresentaram a menor média anual na quantidade de dias com chuva sendo, respectivamente, 6 e 5 dias, e a classe de 0 a 4,99 se repetiu ao longo da série por 15 vezes no mês de julho e 20 em agosto (Tabela 1).

O ano de 1983 foi o que apresentou a maior quantidade anual de dias com chuva, 144, porém este não foi o ano mais chuvoso da série analisada. O ano mais chuvoso foi 2015, totalizando 142 dias com chuva, apenas dois dias a menos, porém com quase 500 mm de chuva a mais, se comparado ao ano de 1983 (Figura 8). Neste ano de 2015, julho teve 16 dias com chuva, mas ocorreram 6 dias com chuva muito acima da média pluviométrica. Os valores também foram acima da média para o mês de novembro com 20 dias e dezembro com 22 dias.

Tabela 1: Painel temporal da quantidade de dias com chuva toda a série histórica do distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1976	12	14	15	10	12	7	7	10	12	9	10	14	132
1977	22	14	11	5	5	12	5	6	11	6	15	15	127
1978	10	8	11	1	7	1	8	5	9	5	12	9	86
1979	9	11	6	8	11	0	8	3	14	12	10	15	107
1980	13	14	11	8	9	6	5	12	15	8	8	13	122
1981	18	13	8	10	2	9	3	6	4	13	12	19	117
1982	8	14	10	5	8	15	10	8	7	17	20	17	139
1983	14	14	11	14	13	17	6	0	15	11	13	16	144
1984	12	11	12	7	6	3	3	7	9	3	11	13	97
1985	8	19	18	12	7	2	4	2	5	7	9	6	99
1986	14	18	11	5	17	1	5	12	9	6	7	15	120
1987	15	17	4	6	16	10	8	3	11	11	8	9	118
1988	11	17	10	10	15	9	0	0	4	10	6	10	102
1989	23	14	9	8	7	11	8	10	9	6	11	13	129
1990	11	17	10	10	15	9	0	0	4	10	6	10	102
1991	10	7	14	3	5	10	3	3	6	9	7	17	94
1992	7	11	19	9	14	6	8	9	14	13	8	10	128
1993	17	17	8	8	7	5	7	4	12	9	6	14	114
1994	14	17	10	7	8	5	6	1	4	14	10	10	106
1995	21	16	9	8	3	7	6	3	8	12	6	12	111
1996	16	15	14	9	8	5	3	6	10	10	11	20	127
1997	23	13	7	7	6	15	2	5	9	14	18	13	132
1998	10	16	15	15	7	4	2	10	15	14	5	12	125
1999	14	14	11	5	6	11	4	0	5	5	7	13	95
2000	9	14	11	2	6	10	9	12	9	8	11	16	117
2001	11	17	15	7	12	7	6	4	8	8	11	13	119
2002	16	12	8	2	12	2	5	8	11	11	13	10	110
2003	17	16	8	7	5	3	5	5	8	7	10	14	105
2004	10	7	8	9	17	11	10	1	6	11	12	12	114
2005	24	5	4	9	5	5	6	5	12	15	8	9	107
2006	14	13	12	6	4	8	4	1	8	8	11	13	102
2007	20	14	8	11	6	2	6	3	4	11	9	12	106
2008	12	15	8	12	4	8	2	12	7	10	8	7	105
2009	13	15	7	1	8	10	14	8	12	13	15	17	133
2010	23	12	8	8	6	3	5	4	11	12	8	16	116
2011	16	20	13	11	3	8	7	7	4	11	8	10	118
2012	10	10	10	8	5	10	5	0	5	7	10	17	97
2013	12	19	15	9	12	13	5	2	8	7	9	9	120
2014	12	12	10	9	6	7	8	3	13	6	11	16	113
2015	13	14	11	8	10	2	16	4	11	11	20	22	142
2016	12	19	8	2	13	7	4	8	4	7	5	13	102
2017	14	10	11	10	10	9	0	8	2	12	11	15	112
2018	21	8	14	3	3	6	1	8	11	14	6	10	105
Média	14	14	11	8	8	7	6	5	9	10	10	13	114

	0 – 4,99
	5 – 9,99
	10 – 14,99
	15 – 19,99
	20 – 24,99

Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Evolução e caracterização morfológica da voçoroca

Devido ao aumento das médias pluviométricas anuais a partir de 2009 e, conseqüentemente, o aumento do fluxo hídrico natural para a bacia de primeira ordem, se fez necessário verificar o processo histórico de evolução da voçoroca. Para melhor acompanhar o avanço da feição erosiva foi utilizada as imagens de satélite dos anos de 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018 e 2019. Esse intervalo de tempo foi selecionado pela expressiva evolução da voçoroca que aumentou de 340 para 950 metros de comprimento (Tabela 2).

Vale enfatizar que a expansão da malha urbana aumentou a concentração de moradias, ruas pavimentadas, construções de barracões de empresas e indústrias nas proximidades, consequência da implantação do distrito industrial de Paranavaí em meados de 1980. Essas mudanças no uso da terra contribuíram para a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial na área (Figura 10).

Baseando-se na tabela 2 e na figura 10, foi possível observar que nos anos de 2008 a 2010 ocorreu a menor evolução em comprimento da voçoroca, que teve um aumento de 10 metros em direção a média vertente. Porém, no setor do sopé, a evolução ocorre em profundidade quase não interferindo na largura da erosão.

Tabela 2. Medidas de extensão da voçoroca ao longo de 2008 a 2019

Ano	Medida da extensão (m)
2008	340
2010	350
2012	410
2014	530
2016	640
2017	710
2018	830
2019	950

Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

O aumento mais expressivo ocorreu entre o ano 2014 a 2016, resultando no avanço de 130 metros (Tabela 2). Nesse momento a voçoroca se instalou sob a média vertente e seu comportamento se modificou devido as características físicas do Argissolo encontrado nesse setor, que apresenta um horizonte A e E arenoso de fácil circulação de água enquanto o Bt de textura média, reduz parcialmente essa infiltração. Essa diferença textura encontrada ao longo do perfil dessa classe de solo, favoreceu para que a voçoroca aumentasse em largura mais facilmente do que em profundidade (Figura 10).

Para compreender as razões dessa rápida evolução, recorreu-se também para uma análise dos totais anuais, confirmando que o ano de 2015 apresentou os maiores valores registrados de toda a série estudada (Figura 8), por isso este ano foi escolhido para uma análise diária (Figura 9). Não somente pelo total anual, se deve a escolha, mas por ser o ano de 2015 muito atípico no que se refere à distribuição da precipitação ao longo do ano, muito diferente do padrão pluviométrica, o que de certa forma contribuiu para a rápida evolução da voçoroca no período de 2014 a 2016.

A fim de tentar maior esclarecimento sobre a dinâmica erosiva da área, optou-se por utilizar a informação da variação temporal da erosividade para identificar os períodos críticos ao longo dos meses do ano. Conhecer os períodos críticos de erosividade é importante, principalmente, para o planejamento das atividades que serão realizadas na área rural.

Figura 10: Linha do tempo da evolução da voçoroca localizada no distrito de Sumaré, Paranaíba, PR, Brasil

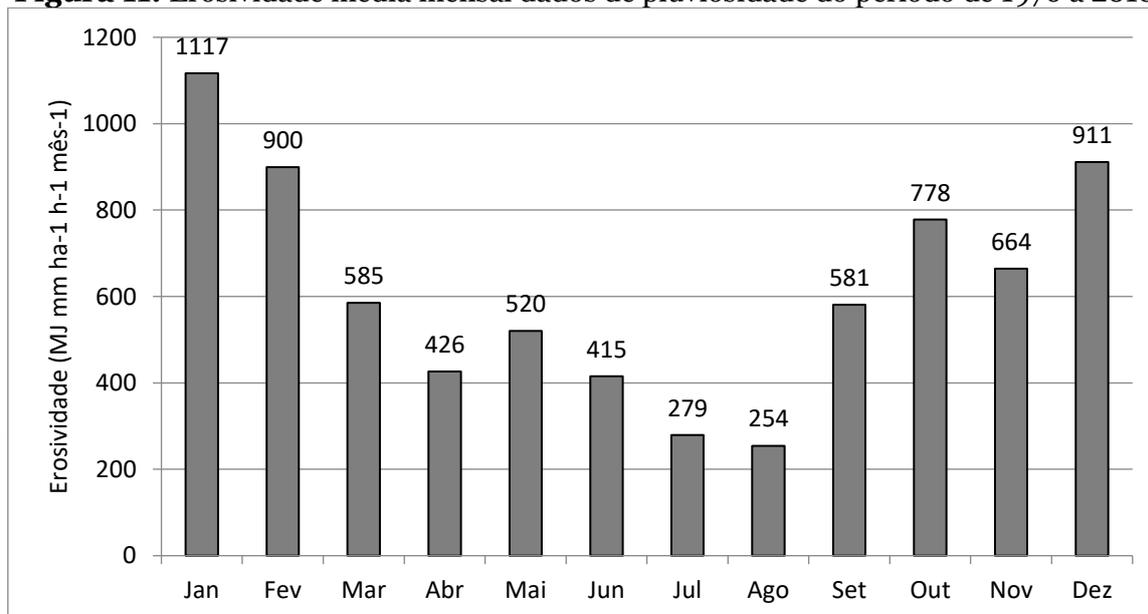


Fonte: Google Earth, 2019.

Com conhecimento dos períodos críticos ao longo do ano é possível amenizar a perda de solo, principalmente em áreas onde a suscetibilidade à erosão é elevada devido às características morfológicas do solo, como foi verificado na área de estudo.

A erosividade média anual (R) da chuva, para o distrito de Sumaré, Paranaíba, estimada com dados pluviométricos do período 1976-2018 foi de 7548,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Figura 11), valor este superior ao apresentado por Waltrick, et al. (2015), que foi de 7340 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no período 1986-2008, também em Paranaíba.

Figura 11: Erosividade média mensal dados de pluviosidade do período de 1976 a 2018



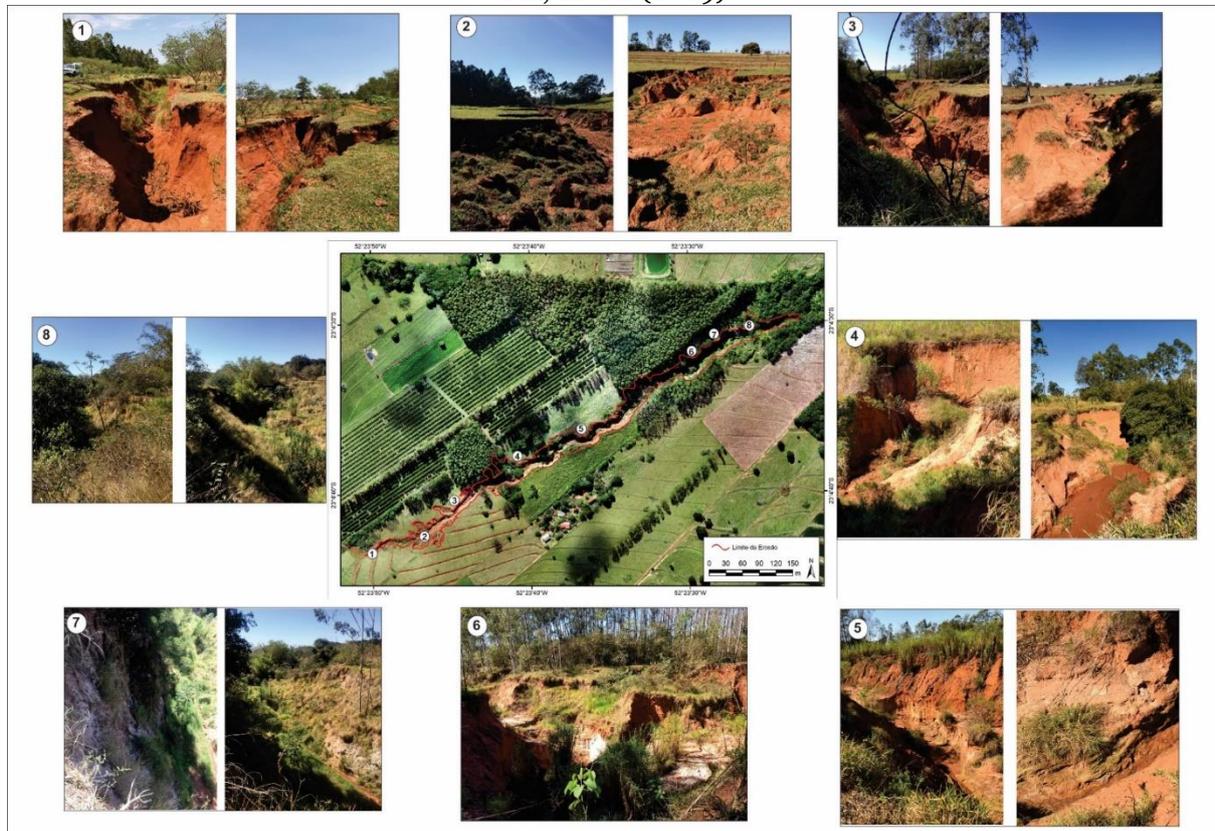
Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

A alteração no aumento da erosividade está relacionada com o número de anos analisados na série histórica e com as técnicas utilizadas, conforme afirma Waltrick, et al. (2015), não sendo possível assegurar que houve um aumento da pluviosidade ou da sua intensidade.

Através da Figura 11 foi possível verificar que os meses de maior erosividade média mensal foram janeiro, fevereiro, outubro e dezembro. Esses valores já eram esperados porque são os meses com os maiores valores médios de precipitação pluviométrica de toda a série. As menores erosividades foram registradas de abril a agosto, com um pico de 520 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ no mês de maio (Figura 11).

Essa erosividade concentrada nos meses de verão e menos intensa nos meses de inverno contribuiu para que a voçoroca apresente diferentes estágios de evolução. A dinâmica erosiva apresenta relações diretas e indiretas com as características do solo, do relevo, do clima e do manejo (Figura 12).

Figura 12: Fotografias ao longo da voçoroca localizada no distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil (2019)



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

De acordo com o exposto na figura 12, no setor da média vertente onde estão apresentados os pontos 1 a 4, a evolução da voçoroca ocorre de forma regressiva, sendo mais intensa em períodos de chuvas, pois a instalação dos tubos à montante canalizaram parte do fluxo hídrico para aquela área, aumentando, a energia da água contribuindo para o abatimento da borda da voçoroca.

Nesse setor é possível identificar ramificações semelhantes a uma rede dendrítica, conforme mostra o ponto 2 da figura 12, que está conectada ao eixo principal da voçoroca. Esses canais são mais rasos, porém mais abertos, com aproximadamente 50 metros de largura entre os pontos mais distantes. Em direção ao eixo central ocorre um aprofundamento que expõem sutilmente a rocha, devido as incisões que chegam a mais de 15 metros de

profundidade. Em períodos de chuvas a água corre nessa área estabelecendo um curso com um canal de tamanho estreito e forma meândrica.

Outro comportamento identificado entre a média e a baixa vertente, de acordo com os pontos 2, 3 e 4 da figura 12, é o solapamento da margem na voçoroca, que segundo Guerra e Cunha (1994) ocorre com o desprendimento em bloco das bordas, esculpindo as laterais como se fossem degraus, estabelecendo assim a forma de taludes solapados.

No ponto 4 da figura 12 ocorre o afloramento do freático, que apresenta um regime constante durante o ano todo, nesse segmento a profundidade ultrapassa 20 metros e a largura chega a 18 metros.

Nos pontos 5 e 6 (Figura 12) ocorre a transição das classes de solos (Argissolo para Neossolo Quartzarênico) entre a média e baixa vertente, com base na análise das imagens é possível verificar a mudança da coloração. As formas da voçoroca nesse setor já começam a se modificar, apresentando paredes mais íngremes, larguras mais estreitas e maiores profundidades, onde inicia os Neossolos Quartzarênicos, ocorrendo a presença nítida da rocha exposta na base, além do constante volume de água durante todo ano, porém com alteração de vazão, de acordo com condições pluviométricas.

Já em direção aos pontos 7 e 8 da figura 12, no sopé da vertente, a dinâmica erosiva ocorre de maneira mais intensa por dia, seja pela ação do vento que carrega o material solto mais fino, ou pela energia da água da chuva. Nesse setor a largura ultrapassa 20 metros e a profundidade chega a 35 metros. Nesse setor, a voçoroca encontra-se exclusivamente nos Neossolos Quartzarênicos.

Com base nos voos realizados com o VANT em dezembro de 2018 e janeiro de 2020 obteve-se as medidas da voçoroca, as quais estão apresentadas na tabela 11.

O perímetro da voçoroca em 2018 era de 2.764,10 e em 2020 chegou a 2.796,20 m, ocorrendo um aumento de 1,16%. Já a área total ocupada pela voçoroca em 2018 era de 23.488,80 m² em 2020 e aumentou para 24.411,86m², resultando em 3,93% de acréscimo na extensão. O volume era 91.355 m³ em 2018, chegando à 93.752,50 m³ em 2020, totalizando 2,62% de expansão (Tabela 3).

Tabela 3: Medidas da voçoroca obtidas pelo VANT

INFORMAÇÕES	DEZEMBRO – 2018	JANEIRO - 2020
Perímetro (m)	2.764,10	2.796,20
Área (m ²)	23.488,80	24.411,86
Volume (m ³)	91.355	93.752,50
Profundidade máxima (m)	22,5	23,39
Largura máxima (m)	81,2	105

Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Com base nos dados apresentado na tabela 3 e a análise da figura 13, pode-se observar que na área de estudo ocorrem duas frentes de transformações distintas. Verifica-se que no setor a leste, no sopé da vertente onde estão localizados os Neossolos Quartzarênicos a evolução ocorre através do aprofundamento da erosão devido a fragilidade natural dessa classe de solo. E no setor a oeste, à montante, onde encontra-se os Argissolos Vermelhos, essa evolução ocorre com o alargamento muito significativo nos períodos de chuva, a morfologia dessa classe de solo contribui para essa dinâmica, devido a presenta dos horizontes superficiais Ap e E mais arenosos são carregados facilmente, enquanto que em profundidade no horizonte Bt ocorre uma resistência maior, devido a concentração de argila nesse horizonte.

Porém, de maneira geral, o aumento em profundidade foi de 3,95%, sendo que em 2018 era de 22,5 m e em 2020 chegou à 23,39 m. As medidas realizadas nesse período mostraram que o aumento em largura, foi maior do que em profundidade pois o avanço máximo lateral passou de 81,2 m para 105 m, totalizando 29,31% de acréscimo (Tabela 3).

Figura 13: Imagem 3D da voçoroca localizada no distrito de Sumaré, Paranavaí, PR, Brasil



Fonte: BECKAUSER, M. C. BALDO, M. C. SILVEIRA, H. (2020).

Portanto, diante do potencial da erosividade das chuvas aliada a erodibilidade dos solos da área de estudo, percebe-se a necessidade de cada vez maior de adotar práticas conservacionistas, como a construção e manutenção das caixas de contenção de água da chuva, terraços de base estreita ou larga, plantio em nível, manutenção das estradas rurais, cobertura do solo em tempo integral, manutenção de áreas com pastagem, dentre outras práticas que são imprescindíveis para evitar a perda de solos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas atividades de campo e nas análises dos dados coletados percebeu-se que a voçoroca localizada na área de estudo, teve origem há pelo menos 30 anos, porém atualmente vem apresentando uma expressiva evolução. As análises das imagens de satélites permitiram concluir que a voçoroca apresenta duas frentes de evolução. A primeira está no setor na média vertente, onde a evolução é maior em largura, do que em profundidade, fazendo com que nesse setor a voçoroca apresente ramificações onde há presença dos Argissolos. E a segunda frente, acontece no sopé, onde a evolução da voçoroca ocorre em profundidade, e se encontram os Neossolos Quartzarênicos. Nesse setor o processo erosivo chega até a rocha e o fluxo hídrico é contínuo.

Os dados pluviométricos históricos apontaram que a média anual da área é de 1515 mm, porém de 1992 a 2018 nenhum ano apresentou totais anuais menores que 1250 mm. Dentre esses anos, 2009, 1997 e 2015 apresentaram respectivamente 2.006, 2.104 e 2.436 mm no total anual de chuva. Essas características, inferiram no aumento de água destinado para área, contribuindo para um aumento de escoamento superficial e perda de solos.

Dentre os fatores que interferem na evolução do processo erosivo, pode-se destacar o avanço da urbanização na área da bacia de primeira ordem; a canalização de parte do escoamento superficial para dentro da propriedade; a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas.

Diante de todo o exposto, torna-se evidente que a erodibilidade dos solos da região Noroeste do Paraná, aliada ao potencial da erosividade da chuva, o manejo empregado na área e o uso e ocupação dos solos, interferiram na dinâmica evolutiva da voçoroca, sendo necessário

levar em consideração todos esses aspectos quando for apresentado propostas de contenção ou recuperação para a voçoroca.

REFERÊNCIAS

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

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Folha: MI-484. Escala: 1:250.000, 2007.

FASOLO, P.J. **Erosão: inventário de áreas críticas no noroeste do Paraná**. (Boletim Técnico). Londrina: IAPAR, 20 p.1988.

GASPARETTO, N. **As formações superficiais do Noroeste do Paraná e sua relação com o Arenito Caiuá**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, p.182.1999.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. H. N. **Quantificação em geografia**. São Paulo: Difel, 1981. 161p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 458p.

21 de fevereiro 2019.

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. **Medidas históricas de Paranavaí – PR**. Curitiba, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=41&search=parana>>. Acesso em 21 de fevereiro 2019.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Perfil dos Municípios**. Curitiba: IPARDES, 2019. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=29>. Acesso em:

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Ponta Grossa. Editora UEPG, 2012.

MINEROPAR. **Atlas geológico do estado do Paraná**. Minerais do Paraná, Curitiba, f. 125. 2001. CD.

NAKASHIMA, P. **Sistemas Pedológicos da Região Noroeste do Estado do Paraná: Distribuição e Subsídios para o Controle da Erosão**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, p.162.1999.

NETTO, C. F.; VIRGENS FILHO, J.S.; NEVES, G. L. Análise da erosividade da chuva no estado do Paraná e cenários futuros impactados por mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Climatologia** (online). Ano 14 – Vol. 22 – JAN/JUN, p. 404-422, 2018.

RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.1, n.24, p. 75-92, 2002.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: Terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 1993;17:439-44.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista**. 1990. 156f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, P. M. S. **História de Paranavaí**. 2 ed. Paranavaí: Fundo Municipal de Cultura. F. 527, 2014.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union. v.38. p. 913-920. 1957.

VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): Principais fatores controladores e impactos urbano- ambientais**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 12 dez 2008, p. 310.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativas da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: Atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.1, p.256-267, 2015.

Recebido em: 09/09/2020.

Aprovado para publicação em: 18/11/2021.