

## **MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL COM O AUXÍLIO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PONDERAÇÃO DO CÓRREGO ANICUNS – GO, BRASIL**

*Mapping of environmental fragility with the aid of the Anicuns stream weighting hierarchical analysis method - GO, Brazil*

**Gustavo Rodrigues Barbosa**

Universidade Estadual de Minas Gerais - UEMG  
gus696@gmail.com

**Thiago Rocha**

Universidade Federal de Jataí – UFJ  
thiago1rocha@hotmail.com

**Valdir Specian**

Universidade Estadual de Goiás – UEG  
vspecian@gmail.com

**Resumo:** O trabalho em questão apresenta como objetivo o uso da metodologia da fragilidade ambiental aplicado para ambientes urbanos proposta por Santos e Ross (2012) voltado à elaboração de planos para o desenvolvimento urbano da bacia do ribeirão Anicuns, situado no município de Goiânia, Goiás. Para a geração das cartas de fragilidade ambiental, os mapas temáticos específicos foram: tipos de solo, uso da terra, declividade e precipitação. Tais temas auxiliaram na determinação das áreas com maior fragilidade ambiental, orientando a implantação de políticas públicas. As áreas com maior fragilidade do ponto de vista ambiental e de acordo com a metodologia de Santos e Ross (2012) está localizada na margem esquerda, devido as suas características topográficas e de tipologia de solos e as áreas com maior intensidade de processos urbanos e próximas aos córregos sem cobertura vegetativa. Finalizando, apresentamos a carta de Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente do Ribeirão Anicuns.

**Palavras-chave:** Fragilidade Ambiental; Relevo; Urbanização.

**Abstract:** The work in question presents as an objective the use of the methodology of environmental fragility applied to urban environments proposed by Santos and Ross (2012) aimed at preparing plans for the urban development of the Anicuns river basin, located in the municipality of Goiânia, Goiás. For the generation of the maps of environmental fragility, the specific thematic maps were: types of soil, land use, slope and precipitation. These themes helped to determine the areas with the greatest environmental fragility, guiding the implementation of public policies. The areas with the greatest environmental fragility and according to the Santos and Ross (2012) methodology are located on the left bank, due to their topographical and soil typology characteristics and the areas with the highest intensity of urban processes and close to streams without vegetative cover. Finally, we present the Letter of Potential and Emerging Environmental Fragility of Ribeirão Anicuns.

**Key words:** Environmental fragility; Relief; Urbanization.

## INTRODUÇÃO

As formações de relevos provenientes da ação de ambientes fluviais, estão diretamente associadas aos processos erosivos e de sedimentação. Em uns ambientes seccionados por bacias hidrográficas, o comportamento hidrológico está intensamente ligado com suas características morfológicas, onde é possível associar a o uso do solo (sua cobertura), área, forma e relevo. Porém, é observado que não há a devida proteção dos mananciais hídricos, visto que estes ambientes estão em constante modificação, devido a ação antrópica no meio, principalmente quando existe urbanização destas áreas (SANTOS; ROSS, 2012).

Nesta perspectiva, a análise da fragilidade dos ambientes possui uma grande relevância, tendo em vista que seu mapeamento possibilita identificar as áreas vulneráveis à ação antrópica e suas potencialidades, a fragilidade ambiental dentro da visão sistêmica, facilitando, assim, a definição das áreas que apresentam susceptibilidades de risco, proporcionando, portanto, melhores diretrizes e ações a serem adotadas e fornecendo subsídios à gestão territorial (SPÖRL, 2013).

O crescente aumento das pressões da sociedade sobre o espaço natural torna cada vez mais necessário um processo contínuo de planejamento territorial e gestão ambiental, cujo objetivo primordial é o ordenamento do território, devendo ser considerar a dinâmica ambiental como a complexidade e a gestão do território, e que necessita ser analisado sem deixar nenhum aspecto de lado (SANTOS; ROSS, 2012).

Entretanto, os procedimentos empregados para a organização do espaço territorial, principalmente referentes aos métodos para a determinação da fragilidade ambiental, nem sempre são realizados considerando as relações complexas entre as variáveis que compõem o meio natural, sendo este um dos fatores responsáveis por resultados que não condizem com as situações encontradas na realidade (CEREDA JUNIOR, 2011).

Com o intuito de auxiliar na tomada de decisão para a resolução de tais problemas referentes ao uso desordenado do espaço, Ribeiro Júnior e Vieira (2012) apresentam que o SIG (sistemas de informações geográficas) é uma ferramenta que pode ser utilizada para minimizar problemas referentes aos métodos de levantamentos tracionais.

A metodologia de análise hierárquica de ponderação (AHP) proposto por Saaty (1980) vem auxiliar na espacialização de dados. Esta metodologia foi embasada na obtenção de pesos, levando em consideração a importância de cada variável para o problema, redizendo o fator de subjetividade sobre a tomada de decisão.

Saaty (1991), demonstram que a aplicação do método AHP está conectado a cinco passos. No primeiro momento é necessário a criação de uma estrutura hierárquica levando em conta o problema e suas variáveis envolvidas, vinculando a elas os critérios que devem ser considerados. No passo seguinte devem ser realizadas as comparações binárias entre as variáveis. No terceiro e quarto passo são definidas as prioridades globais entre as variáveis e comparação binária entre os critérios. Por fim as prioridades são avaliadas por meio da determinação das coerências tanto em relação as variáveis quanto aos critérios adotados.

Ao considerar que o método AHP, associado a análise multicritérios, observa-se que os resultados se apresentam mais confiáveis em diferentes situações, sendo assim, resolveu-se utilizar tal método para diagnóstico de fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns/GO.

Portanto o objetivo principal deste artigo é a compreensão da variação espacial da fragilidade da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns/GO com o auxílio da técnica de processo hierárquico analítico (AHP).

## **METODOLOGIA**

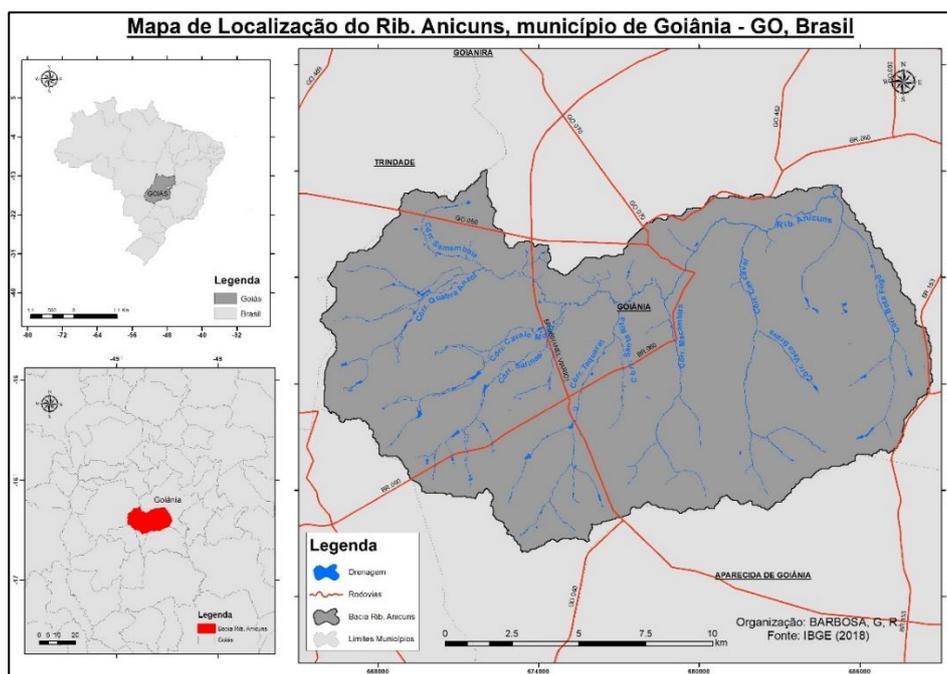
### **Área de estudo**

O corpo hídrico escolhido para este estudo é a bacia do ribeirão Anicuns, está situada do estado de Goiás, na região centro-oeste do Brasil, inserida na porção sudoeste do município de Goiânia, totalizando 231,7 Km<sup>2</sup> de área e aproximadamente 95km de perímetro (Figura 1). Trata-se de uma região altamente antropizada, com poucos fragmentos vegetativos ao longo das drenagens e, eventualmente, maciços de floresta estacional nos interflúvios, além de grande variabilidade do relevo e variedade de litologias e classes pedológicas.

Como todos esses fatores supracitados são aspectos utilizados pelas metodologias adotadas nesta Tese de doutoramento para predição de fragilidade ambiental e novas considerações vinculadas a 34 análise de vertentes, considera-se ser uma área interessante para a aplicação dos modelos empíricos. A bacia em questão possui localização geográfica entre as coordenadas UTM 668.000m E a 8.164.000m S e 684.000m E a 8.143.000m S, abarcadas pelo fuso 22.

O Anicuns tem como principais afluentes os córregos Cavalão Morto, Taquaral, Macambira, Cascavel e Botafogo, pela margem direita; e pela margem esquerda os córregos da Cruz e Samambaia, “que drenam toda a área central de Goiânia e parte das regiões oeste, sul e

leste”. Estima-se que 70% da população da capital estejam nestas sub-bacias (CAIXETA, 2009).



**Figura 1** – Mapa de Localização  
**Fonte:** Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).  
**Organização:** Autores (2022).

### Processamentos dos dados

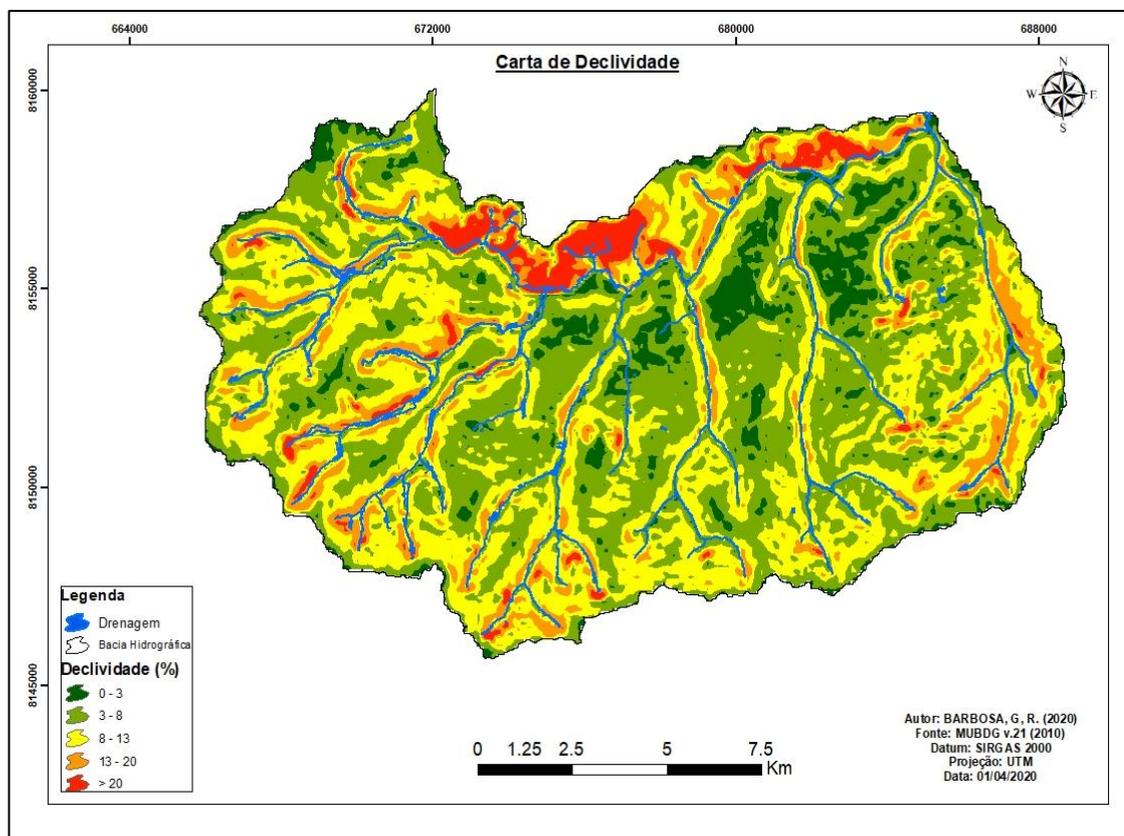
Para dar início a elaboração da base cartográfica necessária para a aquisição das cartas de fragilidade ambiental, foi necessário a classificação dos atributos ambientais em conjunto com os pesos método (AHP), conforme o grau de fragilidade proposto por Santos e Ross (2012). As categorias de declividade estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** - Classificação da fragilidade relacionada à declividade

Código	Fragilidade	Categorias Hierárquicas (%)	Código adaptado
1	Muito fraco	0 – 3	0,1
2	Fraco	3 – 8	0,3
3	Médio	8 – 13	0,5
4	Alto	13 – 20	0,7
5	Muito Alto	> 20	0,9

**Fonte:** Santos e Ross (2012). **Organização:** Autores (2022).

A partir das classes propostas por Santos e Ross (2012) adaptou-se os códigos de fragilidade de 1 a 5 (sendo o 1 muito fraco e o 5 muito alto) descritos no quadro 1. Após essa reclassificação foi possível chegar na espacialização da declividade apresentada na Figura 2.



**Figura 2** – Carta de Declividade  
**Fonte:** Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).  
**Organização:** Autores (2022).

Em relação à variável de solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, Santos e Ross (2012) determinaram as seguintes classes de fragilidade (Quadro 2).

**Quadro 2** - Classificação da fragilidade relacionada ao tipo de solo

Grau de Fragilidade	Classe de Fragilidade	Tipos de Solos	Código adaptado
1	Muito Baixa	Latosolos de estrutura argilosa com textura média/argilosa (conforme classes 1 e 2 da proposta original); Nitossolo, Latossolos vermelho-amarelo em áreas dotadas de infraestrutura urbana;	0,1
2	Baixa	Argissolos vermelho-amarelo com textura média/argilosa em áreas urbanas dotadas de boas condições de infraestrutura;	0,3

3	Média	Argissolos de textura média/arenosa em áreas urbanas dotadas de boas condições de infraestrutura;	0,5
4	Alta	Argissolos vermelho-amarelo de textura média/arenosa; Neossolos quartzarênicos em áreas com infraestrutura urbana;	0,7
5	Muito Alta	Argissolos com carvalho; Gleissolos; Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos.	0,9

Fonte: Santos e Ross (2012). Organização: Autores (2022).

A partir das ponderações propostas por Santos e Ross (2012) e após ponderações averiguadas em campo, foi elaborada a ponderação e aquisição do mapa de solos, esse produto foi adaptado usado como referência a carta de solos elaborada o zoneamento ecológico de Goiânia (Figura 3).

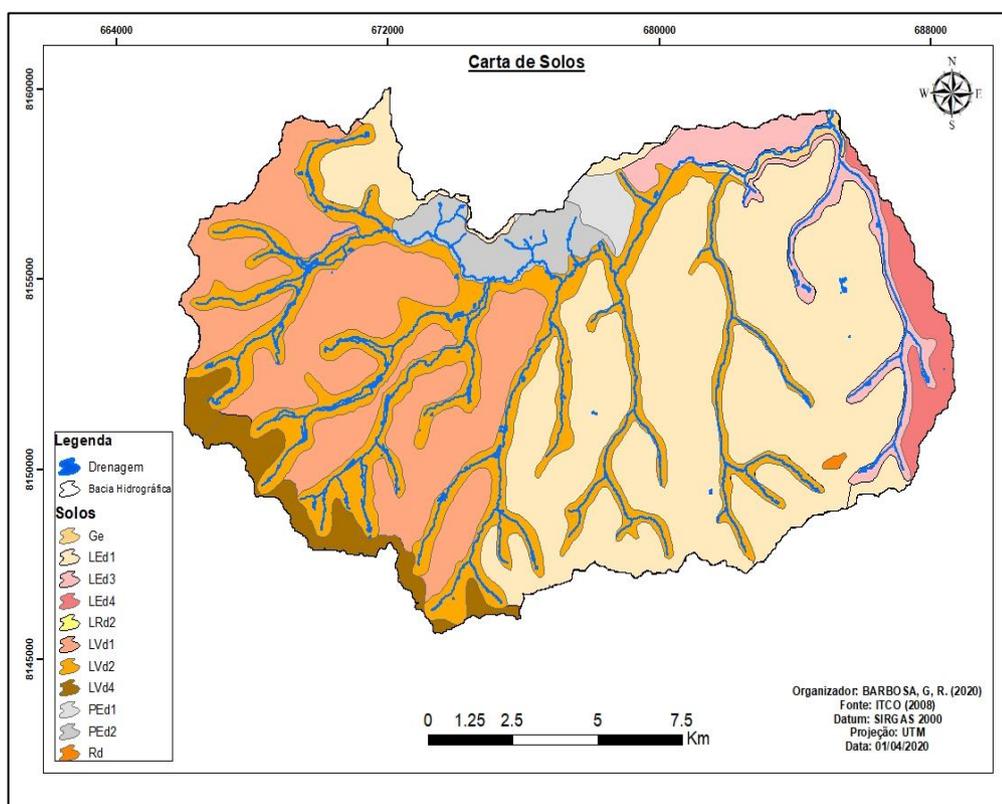


Figura 3 – Carta de Solos

Fonte: Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).

Organização: Autores (2022).

Para os critérios de hierarquização do comportamento pluviométrico, esta variável foi classificada por Santos e Ross (2012) conforme os graus de fragilidade apresentados na no quadro 3.

**Quadro 3-** Classificação da fragilidade relacionada a precipitação

Grau de Fragilidade	Classe de Fragilidade	Características Pluviométricas
1	Muito Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano;
2	Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano;
3	Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno e, no verão, com maiores intensidades de dezembro a março;
4	Alta	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas;
5	Muito Alta	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900mm/ano (semiárido).

**Fonte:** Santos e Ross (2012). **Organização:** Autores (2022).

As informações pluviométricas referentes a uma série histórica de 20 anos foram obtidas a partir de dados do sensor TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Tal produto é fruto de uma parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). Na atualidade, é o radar com melhor equipamento para análises e estimativas de precipitação; este apresenta estimativas com maior precisão, comparado a técnicas indiretas (CAMPAROTTO et al., 2013).

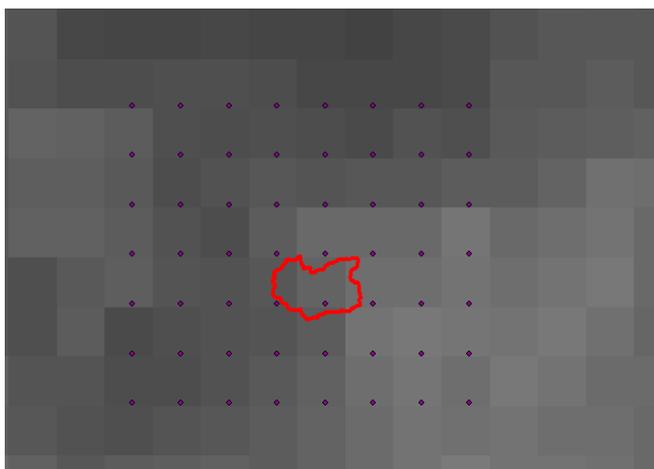
Assim, os dados foram organizados para possibilitar as somatórias mensais, gerando médias mensais e, conseqüentemente, médias anuais. Após o processo de somatória das imagens, foi gerado um centroide para cada célula, pois cada elemento concentrava um valor de precipitação específico; e, após a etapa de criação dos centroides, foi utilizada a função de vetorização dos pontos, transformando-os, assim, em elementos vetoriais. Tal processo trouxe a possibilidade de gerar uma tabela de atributos (Tabela 1) com um valor de precipitação médio anual (1998-2018) vinculado a uma coordenada (XY).

**Tabela 1** – Exemplo de tabela de atributos gerados a partir dos centroides

Número	Latitude	Longitude	Precipitação
1	-16.40	-49.15	1322
2	-16.39	-49.29	1301
3	-16.30	-49.01	1298

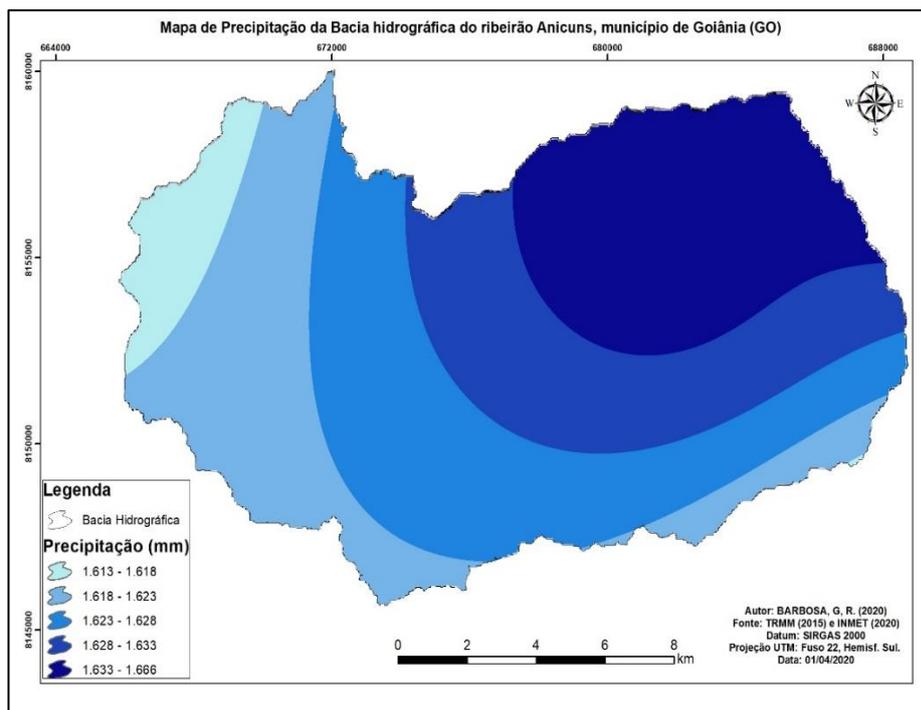
**Organização:** Autores (2022)

Foram selecionados 54 centroides, isso levando em consideração um raio de 50 km em relação ao ponto central da bacia hidrográfica, buscando abranger toda a área de influência interna e externa do Ribeirão Anicuns (Figura 4), assim gerando uma malha de pontos com valores de precipitação médios.



**Figura 4** – Exemplificação da aquisição dos centroides do pixel  
**Fonte:** Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).  
**Organização:** Autores (2022).

O próximo passo para a elaboração da carta de precipitação foi a interpolação dos mesmos dados a partir do método da krigagem em processamento computacional. Camparotto et al. (2013) relatam em um de seus trabalhos que os dados de precipitação obtidos pelo satélite TRMM possuem similaridades com os dados coletados em estações automáticas e convencionais na bacia do alto São Francisco; os autores utilizaram esta área para estudar a comparação entre as duas tipologias de dados. Também ressaltam que tal método pode auxiliar na correção de erros ou falhas encontradas em dados coletados de estações pluviométricas, trazendo maior consistência aos índices de pluviometria.



**Figura 5** – Mapa de Isolinhas (Precipitação Pluvial).  
**Fonte:** INMET e ANA (2022).  
**Organização:** Autores (2022).

Ao comparar as médias de precipitação das estações automáticas e convencionais com os dados obtidos por meio do sensor PR do satélite TRMM, não há uma variabilidade discrepâncias em termos estatísticos; tal afirmativa demonstra a possibilidade de utilização desses dados para obtenção da precipitação (RENNÓ et al., 2008).

Para a obtenção da carta de uso e ocupação da terra (urbanização) utilizou-se do mosaico de imagens do satélite CBERS 4 (órbita/ponto – 159/119) do mês de setembro de 2018, tais dados foram obtidos no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e os mesmos processados no software ArcGis 10.3.

Carta de uso e cobertura do solo foi obtida, tendo como base uma imagem CBERS 4 referenciada na projeção UTM e sistema SIRGAS 2000 no fuso 22k. o método utilizado para gerar a carta de uso do solo foi classificação segmentada, onde a imagem é processada através de fatiamentos de classes, que foram: Área urbanizada/pavimentada, áreas descobertas e áreas verdes (vegetação), como representa a quadro 4.

**Quadro 4** - Classes de nível de urbanização

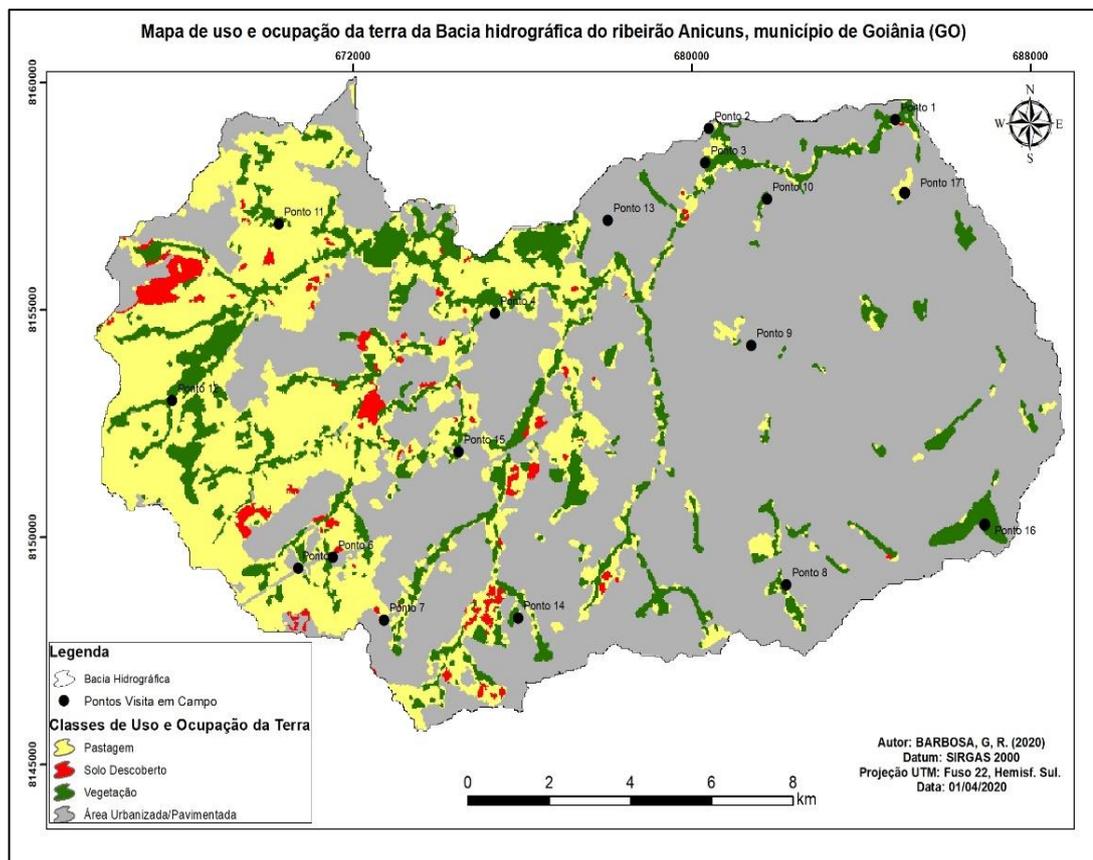
Código	Fragilidade	Categorias Hierárquicas	Código adaptado
1	1-Muito Baixo	Predomínio de condições naturais com um	0,1

		estrato vegetal bem desenvolvido e/ou em estágio avançado de regeneração que favorece a infiltração, minimizando o escoamento pluvial. Setores de média urbanização situados em área mais elevadas que apresentam baixa declividade e contam com medidas estruturais e não estruturais para o controle de cheias, como caixas de sumidouro, canteiros permeáveis, obstáculos para redução de velocidade do escoamento, reservatório para coleta de água da chuva;	
2	2- Baixo	Áreas urbanas com drenagem eficiente, baixa declividade presença de ações para controle de cheias, infiltração e redução de escoamento nas vias de circulação, nos lotes e nas construções.	0,3
3	3- Médio	Área urbanizadas predominantemente impermeabilizadas com problema de drenagem e constante alagamentos e inundações. Ambiente com declividade praticamente nula precariamente incorporadas a drenagem, suscetíveis a inundação sazonais, que podem ter constituído antigas planícies de inundação de corpos hídricos e lacustres afetados ou não por atividades antrópicas.	0,5
4	4- Forte	Locais urbanizados e/ou semi-urbanizados com precariedade nas construções e na infraestrutura para eventos pluviométricos média/baixa intensidade. Áreas de inundação natural, como planícies lacustres e setores mais abrigados das planícies fluviais e fluvio-marinhas;	0,7
5	5- Muito Forte	Área críticas que deveriam ser destinadas à manutenção de sua funcionalidade sistêmica original. Ausência de	0,9

		infraestrutura e total precariedade das construções humanas, fruto do uso e ocupação desordenado da terra. Ambientes naturalmente favoráveis à inundação, tais como corpos hídricos e planícies de inundação. Setores com grande declividade susceptíveis a movimentos de massa.	
--	--	--	--

**Fonte:** Santos e Ross (2012). **Organização:** Autores (2022).

Na etapa subsequente, foi elaborado o treinamento a partir da coleta de amostras dos respectivos usos da terra para que o software de tratamento pudesse gerar uma imagem raster, balizada pela classificação segmentada (fatiamento de classes) para a obtenção da base cartográfica de uso e cobertura da terra (Figura 6).



**Figura 6** – Mapa de Uso da terra

**Fonte:** Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).

**Organização:** Autores (2022).

Para a elaboração das cartas de fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns, seguindo as duas metodologias distintas, baseou-se na ponderação dos planos de informação gerados nos modelos empíricos, detalhados anteriormente, com pesos

resultantes de cálculos matemáticos ao se adotar a Análise Hierárquica Processual (AHP) como método multicritério, cuja técnica foi proposta por Saaty (1980).

A partir de uma base matemática, a aplicação da AHP possibilita a organização e avaliação da importância entre critérios e pondera os julgamentos. O método fundamenta-se na lógica da comparação pareada que envolve estruturação da hierarquia de decisão, construção da matriz de comparação pareada e priorização das alternativas e definição das classes de vulnerabilidade.

Primeiramente, para obtenção dos pesos, determinou-se a relação de importância entre as variáveis selecionadas, ou seja, definiu-se a estrutura de hierarquia que representou a ordem de contribuição relativa para cada componente envolvida nos modelos de fragilidade aplicados. Neste procedimento de determinação da hierarquização, diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores.

Esta comparação foi realizada por meio da matriz de comparação pareada de ordem  $n$ , sendo  $n$  o número de fatores em que as variáveis foram dispostas, tanto nas linhas como nas colunas, na mesma ordem.

Após o preenchimento da matriz de comparação, foi calculado o vetor de pesos AHP ( $w$ ) e, para cada fator  $n$ , foi obtido um peso  $w_i$ . A Equação 1 abaixo refere-se ao modo em que estes pesos são obtidos.

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n [(\prod_{j=1}^n a_{kj})^{\frac{1}{n}}]} \quad (1)$$

Após aplicação da técnica AHP, os pesos obtidos foram multiplicados aos planos de informação referentes às variáveis de cada modelo empírico de fragilidade ambiental abordado neste estudo, resultando, assim, em dois novos mapas-síntese de fragilidade.

Após esta etapa, os três mapas intermediários (declividade, tipo de solo e precipitação) foram correlacionados por meio da álgebra de mapas, que consiste na sobreposição dos mapas utilizando uma escala comum e pesos para cada classe conforme sua importância gerando a carta de fragilidade potencial. O geoprocessamento foi utilizado para a técnica de álgebra dos mapas na geração do mapa síntese de fragilidade ambiental potencial, utilizando a extensão Spatial Analyst (Reclassify e Raster Calculator) no ArcGis.

A aplicação da técnica de Análise Hierárquica de Ponderação para se obter os pesos necessários para a elaboração da álgebra cartográfica foi realizada segundo a Equação 2:

$$\mathbf{FAp} = \mathbf{De} * \mathbf{Pw1} + \mathbf{S} * \mathbf{Pw2} + \mathbf{Plu} * \mathbf{Pw3}$$

(2)

Onde,

FAp = Fragilidade Ambiental Potencial

Pw = Pesos

De = Declividade

S = Solos

Plu = Pluviometria

Após a elaboração da carta de fragilidade ambiental potencial foi elaborada a interseção com a carta de uso do solo no intuito de chegar na carta de fragilidade ambiental emergente explicado a equação 3 (demostrando a interferência que a ação antrópica tem sobre o meio natural).

$$\mathbf{FAe} = \mathbf{FAp} + (\mathbf{Us} * \mathbf{Pw4})$$

(3)

Onde,

FAe = Fragilidade Ambiental Emergente

FAp = Fragilidade Ambiental Potencial

Pw = Pesos

Us = Uso da terra/Urbanização

O produto de fragilidade ambiental emergente é representado por um código de quatro algarismos: o 1º dígito corresponde ao relevo, o 2º representa o uso do solo, o 3º Tipo de Solos e o 4º refere-se à pluviosidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise baseada no empirismo da fragilidade ambiental, pautada em diferentes padrões das unidades ecodinâmicas estáveis que retratam a instabilidade potencial e das unidades ecodinâmicas instáveis que representam a instabilidade emergente (Ross, 1994), foi possível elaborar as cartas de fragilidade ambiental tomando por base a combinação dos dados climáticos, de solos, de declividade e uso do solo em conjunto com a associação dos tipos de solo relacionados com as condições da infraestrutura urbana, com base na classificação

proposta por Santos e Ross (2012) em conjunto com as ponderações de pesos aplicados pelo método AHP (análise hierárquica de ponderação). A Tabela 2 apresenta a classificação das variações juntamente com as áreas e cada tipo de característica de fragilidade ambiental encontrada na área da bacia hidrográfica do Ribeirão Anicuns.

**Tabela 2 - Classes de Fragilidade Ambiental**

Classes de Fragilidade Ambiental	Categoria	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
<b>declividade</b>			
<b>Muito Baixo</b>	0 – 3	32.9 7	14.9 0
<b>Baixo</b>	3 – 8	82.4 4	37.2 6
<b>Médio</b>	8 – 13	60.3 2	27.2 6
<b>Alto</b>	12 – 20	25.9 6	11.7 3
<b>Muito Alto</b>	> 20	19.5 5	8.84
<b>Precipitação</b>			
<b>Muito Baixo</b>	-	-	-
<b>Baixo</b>	-	-	-
<b>Médio</b>	-	-	-
<b>Alto</b>	Pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, alta concentração das chuvas no verão, entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% das chuvas.	221, 24	100, 00
<b>Muito Alto</b>	-	-	-
<b>Pedologia (solos)</b>			
<b>Muito Baixo</b>		-	-
<b>Baixo</b>	LVd1/LVd4/LRd2/LEd3/LEd1/LEd4/ LVd2	125. 50	56.7 3
<b>Médio</b>	PEd2/PEd1	93.3 0	42.1 7
<b>Alto</b>		-	-
<b>Muito Alto</b>	Ge/Rd	2.44	1.10
<b>Uso e Ocupação do Solo</b>			
<b>Muito Baixo</b>	-	-	-
<b>Baixo</b>	Vegetação (APP e Parques)	22,8 9	10,3 7

<b>Médio</b>	Pastagem	51,0 7	23,1 3
<b>Alto</b>	Solo Descoberto	3,24	1,47
<b>Muito Alto</b>	Área Urbanizada	149, 63	65,0 4
Total		221, 24	100,00

**Fonte:** Organização dos autores.

Os atributos encontrados no cruzamento das variáveis apresentaram uma generalização dos níveis mais baixos de fragilidade, sendo assim, o relevo com aclives acentuados, apresentados na figura 7, foi apurado somente na margem esquerda e em algumas pequenas porções das calhas dos córregos contribuintes da margem direita do Ribeirão, de modo que as demais variáveis tiveram um papel secundário na classificação da fragilidade potencial. Desta forma obtivemos um destaque para as classes “Muito Baixa” e “Baixa”, totalizando 166,93 km<sup>2</sup> (75,30%) da área total da bacia e somente 20,60 km<sup>2</sup> (9,30%) classificados como áreas de “Alto” ou “Muito Alto” grau de fragilidade ambiental potencial (Tabela 3).

**Tabela 3 – Área Fragilidade Ambiental Potencial**

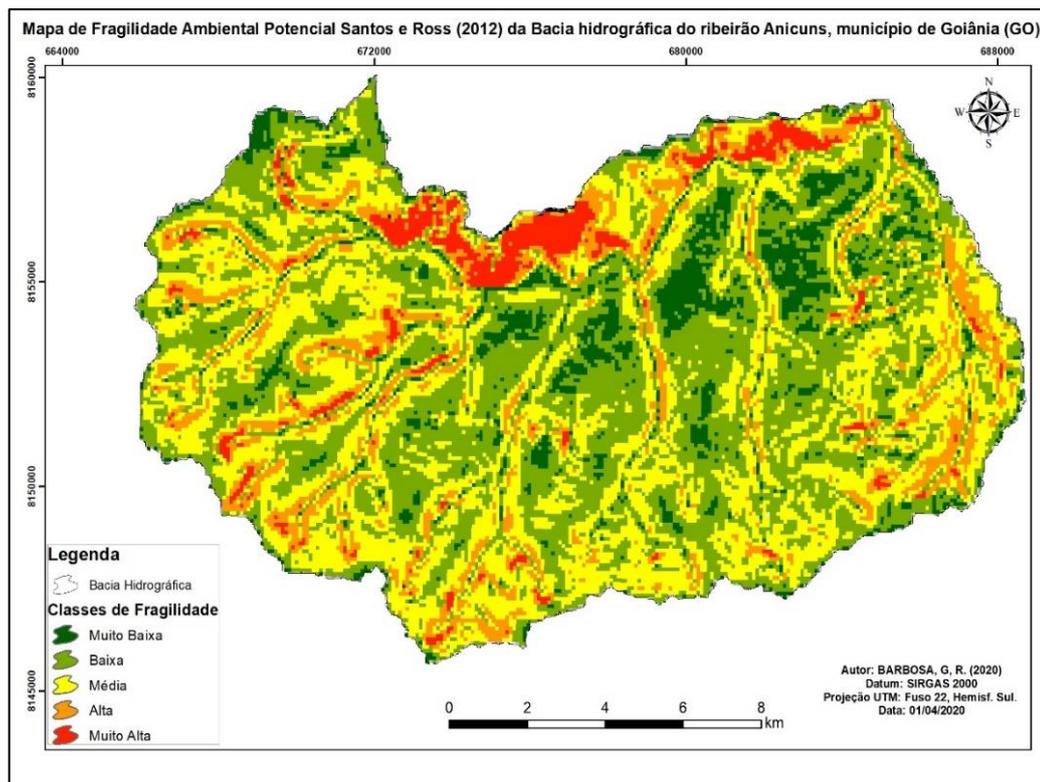
<b>Classes F. Potencial</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
<b>Muito Baixo</b>	103.78	46.81
<b>Baixo</b>	63.15	28.49
<b>Médio</b>	34.14	15.40
<b>Alto</b>	12.43	5.61
<b>Muito Alto</b>	8.17	3.69
<b>Total</b>	221.69	100.00

**Fonte:** Organização dos autores

Os resultados obtidos, demonstrando a predominância das classes de “Baixa” e “Muito Baixa”, podem ser justificados pela característica apresentada no Ribeirão Anicuns, que é um encaixamento na margem esquerda, exibindo rampas curtas e aclives acentuados, e na margem direita uma inclinação suave e gradativa (Mapa 6).

Santos e Ross (2012) apontam que o relevo com pouca dissecação, caso encontrado na margem direita da bacia do Ribeirão Anicuns, geralmente possui características mais estáveis, tendo em vista que a fragilidade é condicionada também por outras variáveis, como tipo de solo, uso do solo e características de pluviometria. Considerando isso, foi utilizada a Equação 4 no ambiente SIG para a elaboração da carta de fragilidade ambiental Potencial:

$$FAP = De * 0,2633 + Pe * 0,1219 + Plu * 0,0569 \quad (4)$$



**Figura 7** – Fragilidade Ambiental Potencial.

**Fonte:** Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).

**Organização:** Autores (2022).

A espacialização da fragilidade potencial permitiu observar que as áreas classificadas como fragilidade “baixa” e “muito baixa” ocorrem provavelmente devido ao tipo de solo e ao relevo. Para a margem esquerda, o relevo é o fator de maior relevância, já para a margem direita o fator de maior relevância é a tipologia do solo, pois temos a predominância de Latossolos com características arenosas, e solos que apresentam tais características são mais erodíveis. Levando em consideração a declividade, representada pelas classes 0 - 3 e 3 - 8, observa-se aclives suaves, justificando-se a média influência no percentual erosivo (CUIABANO; SERAFIM M. E. e NEVES, 2019).

Para a obtenção da fragilidade emergente foi necessária a interpolação dos dados da fragilidade ambiental potencial juntamente com os dados de uso e ocupação do solo, em conjunto com a classificação proposta por Santos e Ross (2012) associando a urbanização (cobertura do solo) com o tipo de solo e fatores associados a processos erosivos, e neste caso, foi admitido como fator de evidência maior, e tal temática ganhou destaque devido aos fatores de urbanização (que ocupa 149,63 km<sup>2</sup> ou 65,04% da área) que acabou se tornando intensificador no aumento significativo da fragilidade ambiental.

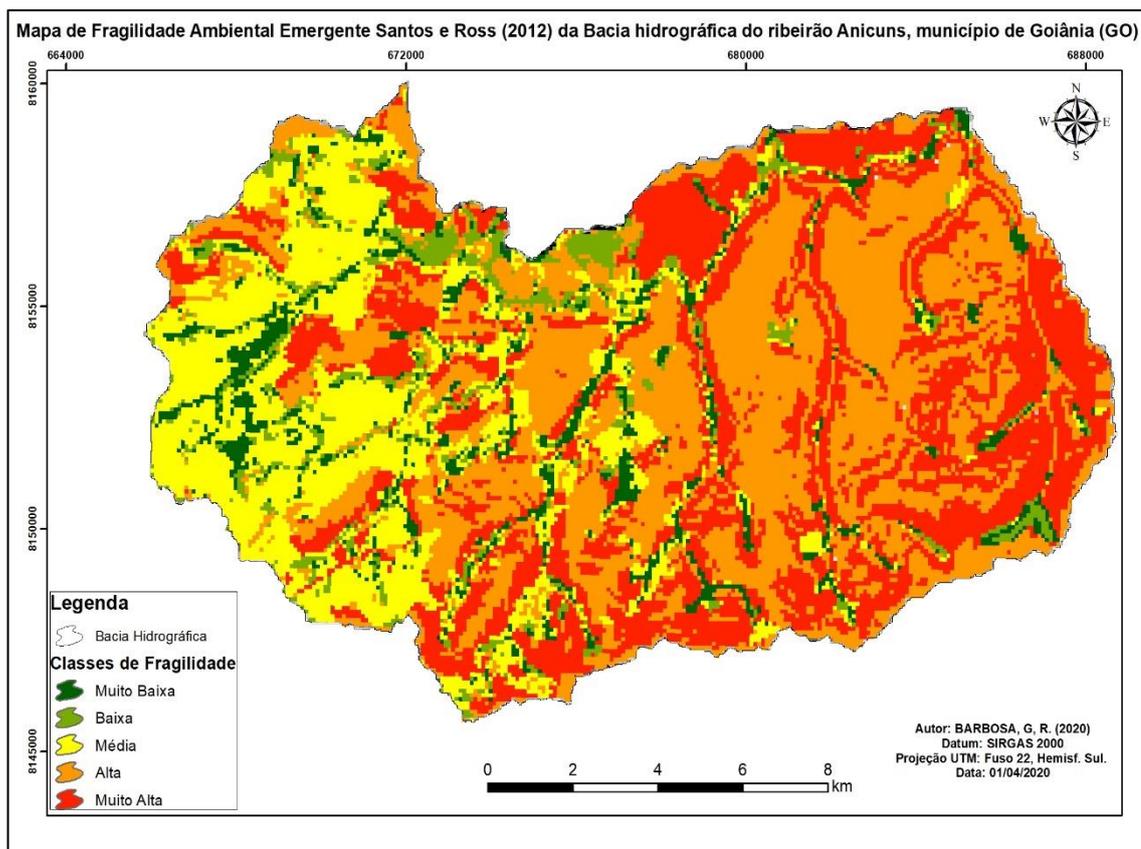
O mapeamento da fragilidade emergente evidenciou um aumento significativo dos níveis de instabilidade em razão, principalmente, do uso e ocupação do solo/urbanização, exposto na Tabela 4, tendo em vista que as áreas urbanizadas (mancha urbana) apresentaram fragilidade emergente muito alta (128,70 km<sup>2</sup> ou 58,75% da área total da bacia).

**Tabela 4 - Área Fragilidade Ambiental Emergente**

<b>Classes F. Emergentes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
<b>Muito Baixo</b>	13,16	6,01
<b>Baixo</b>	11,50	5,25
<b>Médio</b>	44,52	20,33
<b>Alto</b>	128,70	58,75
<b>Muito Alto</b>	21,17	9,67
<b>Total</b>	221,95	100,00

**Fonte:** Organização dos autores

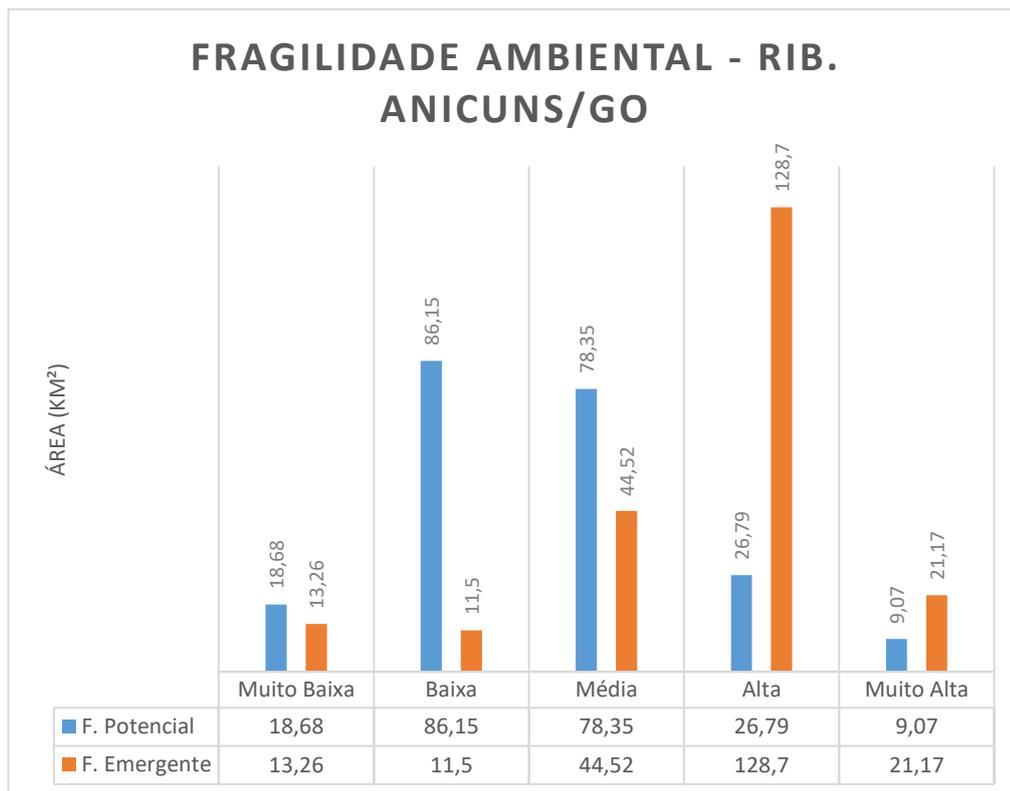
As áreas que apresentaram baixa ou muito baixa fragilidade emergente (23,66 km<sup>2</sup> ou 11,26%) abrangem as áreas verdes (presença de vegetação), isto porque, como mencionado, este tipo de uso, em geral, apresenta menor fragilidade que as áreas descobertas e urbanizadas. Isso pode ser explicado pelo fato de que esses processos erosivos ocorrem de forma natural e podem ser intensificados por ações antrópicas, e também podem estar atrelados a formas de relevo em conjunto com os formatos de vertentes.



**Figura 8** – Mapa de Fragilidade Ambiental Emergente  
**Fonte:** Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2012).  
**Organização:** Autores (2022).

Na Figura 8 é possível observar uma predominância da classe alta de fragilidade emergente (128,70 km<sup>2</sup> ou 58,75%). Apesar de apresentar a fragilidade alta, tais localidades também são afetadas pelos processos erosivos laminares. É preciso atenção especial com relação ao escoamento concentrado das águas pluviais e fluviais nas áreas com solos descobertos e principalmente nas áreas urbanizadas, devido à impermeabilização do solo e ao aumento significativo da velocidade do escoamento superficial.

No Gráfico 1 é possível analisar como aconteceu o impacto da junção da variável de uso ocupação do solo/urbanização na fragilidade ambiental potencial.



**Gráfico 1** - Comparação de áreas fragilidade ambiental e emergente.  
**Organização:** Autores (2022).

É possível identificar (Figura 9) que as classes de fragilidade “baixa” e “alta” apresentaram variações consideráveis nos mapeamentos das fragilidades potenciais e emergentes. As áreas de fragilidade baixa apresentavam 86,15 km<sup>2</sup> na fragilidade potencial que foi reduzida para 11,5 km<sup>2</sup> na fragilidade emergente, agora a classe alta de fragilidade registrada foi de 26,79 km<sup>2</sup> na fragilidade potencial, tendo um aumento significativo para 128,70 km<sup>2</sup>. Isso é possível pelo fato de a área total da bacia já possuir quase 60% de área urbanizada, ou seja, o solo já possui um nível de impermeabilização considerável, causando assim maiores problemas em relação ao escoamento superficial e a processos erosivos laminares e lineares.

## CONCLUSÃO

Concluiu-se então que o melhor conceito que define a Fragilidade Ambiental é o que analisa o desequilíbrio dinâmico que existe no ambiente, e que esta, é um atributo essencial do meio natural.

Constatou-se também que é necessário a seleção cautelosa de todos os elementos e classes de atributos que serão considerados na geração dos mapas de fragilidade ambiental, pois é necessário juntar todos os aspectos do meio físico, estando coerentes com a área de estudo.

A metodologia de Processo de Análise Hierárquica (AHP) demonstrou ser importante para a classificação das variáveis e de cada atributo e obtenção dos pesos finais. Por meio desse método é possível reduzir a subjetividade que a metodologia de mapeamento de fragilidade ambiental pode apresentar, gerando resultados mais confiáveis.

O mapa de fragilidade ambiental gerado para ilustrar a aplicação do método se mostrou bastante condizente com os mapas intermediários usados para gerá-lo. Tal fato indica que o método proposto é adequado à definição conceitual defendida neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

CAIXETA, D. M. Mapeamento, Identificação e Monitoramento das Áreas de Proteção Permanente ao longo do Ribeirão Anicuns no Município de Goiânia - Go. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 53, n. 9, p. 617–622, 2009.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; ALMEIDA FILHO, R.; BONISCH, S. **Técnicas de inferência geográfica**. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. Livro online. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html](http://www.dpi.inpe.br/livro/intro/index.html). Acesso em 03/03/2020. [ebook; s/p.]. p.241-288, (2001)

CEREDA JUNIOR, A. **Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério: críticas e proposta metodológica**. p. 149, 2011.

DE SOUZA LIMA, J. S., RIBEIRO FILHO, R. B., MIRANDA, M. R., NEVES, L. Z., & FERRAZ, F. Aplicação de geoprocessamento e lógica fuzzy para criação de zoneamento no parque estadual da cachoeira da fumaça/es para fins de conservação/Application of Geoprocessing and Fuzzy Logic for the Establishment of Zoning in Parque Estadual da Cachoeira. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 66 (3), p.545-554, 2014.

DIAS, V. S. B.; DA SILVA, A. de B. Ahp na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico serra das onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 66/6, p.1363-1377, 2014.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental da bacia hidrográfica do córrego do Cedro – Presidente Prudente/SP**. Presidente Prudente, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, p.157. 2007.

GONÇALVES, F. **Interações entre o ambiente físico, uso e cobertura da terra e as características físicas e químicas no canal fluvial: a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista (Dez. 2009 – Dez. 2010)**. 2011. 145 f. Dissertação (mestrado) -

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

RIBEIRO JÚNIOR, S. & VIEIRA, C. A. O. Aplicação do processo analítico hierárquico na escolha de tecnologia de coleta de dados para cálculo de volume de minério estocado. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/4, 2013.

MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA FILHO, R. Inferência geográfica e suporte à decisão. In: CÂMARA, G. e DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: livro online, sd Capítulo, v. 9, p.241-286, 2001.

SAATY, T. . **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hil, 1980.

SANTOS, J. DE O.; ROSS, J. FRAGILIDADE AMBIENTAL URBANA. **Revista da ANPEGE**, v. 8, p. 127–144, 2012.

SPÖRL, C. METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE MODELOS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL UTILIZANDO REDES NEURAIIS. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

SAMIZAVA, T. M. ; KAIDA, R. H. ; IMAI, N. N. ; NUNES, J. O. R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente–SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 1, p. 43-55, 2008.

SVORAY, T., MICHAILOV, E., COHEN, A., ROKAH, L., STURM, A. Predicting gully initiation: comparing data mining techniques, analytical hierarchy processes and the topographic threshold. **Earth Surface Process and Landforms** **37**, ed.6, 607-619pp. 2011.

WEBER, P. & CHAPMAN, D. Location Intelligence: An Innovative Approach to Business Location Decision-making. **Transactions in GIS**, v. 15, n. 3, p. 309-328, 2011.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Gustavo Rodrigues Barbosa**

Possui graduação em Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), graduação em Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (2011) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia (2015) é Doutor em Geociências na Universidade Federal de Goiás Regional-Jataí (2020). Tem experiência profissional na área de Geociências e Conservação Ambiental, atuando em Geoprocessamento para planejamento regional, Visualização Cartográfica e Métodos inteligentes em Sensoriamento Remoto e SIG. Atua nas linhas de pesquisa de sistemas especialistas para SIG, Cartografia Geológica e Geomorfológica, Visualização de dados espaciais e integração das tecnologias para o ambiente SIG e administrador e desenvolvedor do Ambiente de Aprendizagem Virtual (AVA) para o curso de pós-graduação em Geoprocessamento e Bando de Dados no IFNMG. Atualmente é professor em Universidade Estadual de Minas Gerais Campus Frutal.

### **Thiago Rocha**

Doutorando (2019) pelo Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGeo), pela Universidade Federal de Jataí (UFJ), Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGGeo), pela Universidade Federal de Goiás (UFG) - Regional de Jataí-GO (2018), ambos na área, de Organização do Espaço nos Domínios do Cerrado Brasileiro. Especialização em Ordenamento Ambiental e Desenvolvimento Sustentável (2016), graduação/licenciatura em Geografia (2015), ambos pela Universidade Estadual de Goiás (UEG) - Campus Iporá. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em climatologia geográfica, atuando principalmente nos seguintes temas: clima urbano, conforto térmico, agroclimatologia, topoclima, microclima e monitoramento ambiental e climático em bacias hidrográficas com o uso de georreferenciamento.

### **Valdir Specian**

Graduado em Geografia – Licenciatura – pela Universidade Estadual de Maringá – UEM; Especialista em Educação Ambiental e Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental – ambos pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC da Universidade de São Paulo – USP; Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Jataí – UFJ. É professor efetivo de Geografia da Universidade Estadual de Goiás – Unidade de Iporá.

---

**Recebido em fevereiro de 2022.**  
**Aceito para publicação em julho de 2022.**  
**Publicado em agosto de 2022.**