

**ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO CANTAGALO, TRÊS RIOS, RJ - BRASIL**

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE CANTAGALO STREAM
WATERSHED, TRÊS RIOS, RJ – BRAZIL

ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL
ARROYO CANTAGALO, TRÊS RIOS, RJ - BRASIL

Luan Carlos Octaviano Ferreira Leite¹
Erika Cortines²

Resumo: A apropriação desordenada dos recursos naturais torna necessária a adoção de processos continuados de planejamento e gestão, destinados ao ordenamento da exploração dos territórios, equilibrando conservação ambiental e relações socioeconômicas de forma que nenhum destes aspectos seja negligenciado. Os estudos de fragilidade ambiental são úteis para subsidiar o planejamento e conciliar tais aspectos. O presente trabalho tem por objetivo realizar o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo como subsídio ao poder público para a elaboração de políticas públicas que promovam o desenvolvimento sustentável em seu território. Informações a respeito dos componentes ambientais da bacia foram sobrepostas em um processo de análise multicritério. Os mapas foram gerados no ArcGis 10.2.1 a partir de cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística na escala de 1:25.000. Áreas com fragilidade ambiental Muito Alta cobrem 32% da área total da bacia. A segunda classe mais abrangente é a de Média fragilidade ambiental, cobrindo 23%, seguida pelas classes Alta (22%), Baixa (20%) e Muito Baixa (3%). O mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo foi eficaz para determinar as áreas mais sujeitas a fenômenos naturais perigosos e degradação ambiental. A predominância de áreas de muito alta fragilidade é reflexo da urbanização desordenada, ocupação irregular de Áreas de Preservação Permanente e redução da cobertura vegetal. Conclui-se que estudos complementares de viabilidade e de adequação ao cenário socioeconômico da bacia podem contribuir na deliberação sobre técnicas e políticas que promovam a sustentabilidade em seu território.

¹ Mestre no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora. Email: luan_otaviano@hotmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/0629658112430513>. Orcid iD: <http://orcid.org/0000-0002-6370-8474>.

² Doutora em Ciências Ambientais e Florestais pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Professora Associada I da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Três Rios, UFRRJ, lotada no Departamento de Ciências do Meio Ambiente. Email: ecortines@gmail.com. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/1020062257227266>. Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-2955-2058>.

Palavras-chave: Planejamento ambiental; Análise multicritério; Sustentabilidade; Conservação.

Abstract: The disorderly appropriation of natural resources makes it necessary to adopt continuous planning and management processes, aimed at ordering the exploitation of territories, balancing environmental conservation and socio-economic relations so that neither of these aspects is neglected. Environmental fragility studies are useful for supporting planning and reconciling these aspects. The aim of this study is to map the environmental fragility of the Cantagalo stream catchment area as a way of helping public authorities draw up public policies to promote sustainable development in the area. Information on the basin's environmental components was superimposed in a multi-criteria analysis process. The maps were generated in ArcGis 10.2.1 from topographic maps from the Brazilian Institute of Geography and Statistics at a scale of 1:25,000. Areas with Very High environmental fragility cover 32% of the basin's total area. The second most comprehensive class is Medium environmental fragility, covering 23%, followed by High (22%), Low (20%) and Very Low (3%). Mapping the environmental fragility of the Cantagalo stream catchment was effective in determining the areas most subject to dangerous natural phenomena and environmental degradation. The predominance of areas of very high fragility is a reflection of disorderly urbanization, irregular occupation of Permanent Preservation Areas and a reduction in vegetation cover. The conclusion is that further studies into the feasibility and suitability of the basin's socio-economic scenario can contribute to the deliberation of techniques and policies that promote sustainability in its territory.

Keywords: Environmental planning; Multicriterial analysis; Sustainability; Conservation.

Resumen: La apropiación desordenada de los recursos naturales hace necesaria la adopción de procesos continuos de planificación y gestión destinados a ordenar la explotación de los territorios, equilibrando la conservación del medio ambiente y las relaciones socioeconómicas de forma que no se descuide ninguno de los dos aspectos. Los estudios de fragilidad ambiental son útiles para subvencionar la planificación y conciliar estos aspectos. El objetivo de este estudio es cartografiar la fragilidad ambiental de la cuenca hidrográfica del arroyo Cantagalo como ayuda a los poderes públicos en la elaboración de políticas públicas que promuevan el desarrollo sostenible de la zona. La información sobre los componentes ambientales de la cuenca se superpuso en un proceso de análisis multicriterio. Los mapas fueron generados en ArcGis 10.2.1 a partir de mapas topográficos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística a escala 1:25.000. Las zonas con fragilidad ambiental Muy Alta abarcan el 32% de la superficie total de la cuenca. La segunda clase más amplia es la fragilidad ambiental Media, que cubre el 23%, seguida de Alta (22%), Baja (20%) y Muy Baja (3%). La cartografía de la fragilidad ambiental de la cuenca del arroyo Cantagalo resultó eficaz para determinar las zonas más expuestas a fenómenos naturales peligrosos y a la degradación ambiental. El predominio de áreas de fragilidad muy alta es reflejo de la urbanización desordenada, de la ocupación irregular de las Áreas de Preservación Permanente y de la reducción de la cobertura vegetal. La conclusión es que estudios complementarios de viabilidad y adecuación del escenario socioeconómico de la cuenca pueden contribuir a las deliberaciones sobre técnicas y políticas que promuevan la sostenibilidad en su territorio.

Palabras-clave: Planificación ambiental; Análisis multicriterio; Sostenibilidad; Conservación.

Introdução

A atividade industrial brasileira cresceu rapidamente no período posterior à segunda guerra mundial e foi seguida por uma urbanização acelerada. Entre as décadas de 50 e 90, a população urbana do país cresceu de 36% para 75%, formando verdadeiras aglomerações. Esses centros urbanos abrigam diversos problemas ambientais e sociais, como poluição atmosférica, sonora e hídrica; destruição dos recursos naturais e da biodiversidade; desintegração social; perda da identidade cultural e de produtividade econômica. Isso se dá pois, muitas vezes, as formas de uso e ocupação do solo, a manutenção de áreas verdes e de lazer, a gestão de áreas de risco, o tratamento de esgotos e a gestão de resíduos sólidos não são tratados com prioridade (Leal; Farias; Araújo, 2008).

Diante da crescente pressão exercida pela sociedade ao apropriar-se dos recursos naturais de forma desordenada para atender suas necessidades, torna-se necessária a adoção de processos continuados de planejamento e gestão (ambiental e territorial), destinados ao ordenamento da exploração dos territórios de modo a considerar, tanto a conservação ambiental quanto as complexas relações socioeconômicas, de forma que nenhum desses aspectos seja negligenciado (Santos; Ross, 2012). Segundo Louro e Menezes (2012), gestão ambiental e gestão urbana são complementares, visto que para uma cidade cumprir sua função social, é necessário gerenciar o espaço urbano de modo a promover o desenvolvimento sustentável e garantir qualidade de vida à população.

Quando observada de maneira sistêmica, a bacia hidrográfica se torna a unidade espacial ideal para o planejamento e a gestão ambiental (Lourenço, 2013). A partir da compreensão do conjunto de elementos que compõem esse sistema e dos seus complexos mecanismos de inter-relacionamento, é possível elaborar medidas e ações adequadas à dinâmica de funcionamento da bacia, baseadas em suas potencialidades e limitações (Lima; Silva, 2015). As metodologias adotadas para estudar e gerenciar o espaço físico de uma bacia hidrográfica, devem ser baseadas em teorias e modelos que possibilitem a compreensão e a organização das informações úteis à gestão ambiental (Pires; Santos; Del Prete, 2002).

Quanto às ferramentas de auxílio ao planejamento, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) têm se destacado (Silva; David, 2017). Autores como Covarlán e Garcia (2011), Bacani et al. (2015) e Lima e Silva (2015) destacam a importância dos SIG's e dados

de sensoriamento remoto no apoio ao manejo e gestão dos recursos naturais e ao planejamento em todos os seus níveis. As possibilidades criadas por esses sistemas, justificam a sua relevância nos processos de planejamento e gestão podendo-se: criar bancos de dados georreferenciados; analisar os aspectos físicos, bióticos e antrópicos de bacias hidrográficas de maneira integrada; utilizar um grande número de variáveis; e realizar modelagens e simulações, de maneira simplificada e precisa.

Os estudos de fragilidade ambiental são úteis para subsidiar o planejamento e conciliar a conservação e recuperação ambiental com o desenvolvimento tecnológico, econômico e social (Spörl, 2001). O objetivo básico desse tipo de estudo é determinar os índices de fragilidade dos ambientes, antropizados ou não, perante o desenvolvimento das atividades humanas (Ross, 1994). Spörl (2007) relata que o conceito de fragilidade ambiental também está relacionado a ambientes em situação de risco, sujeitos a fenômenos como erosões, deslizamentos de encostas, assoreamento de corpos hídricos e inundações.

A eficiência e baixo custo de aplicação dessa ferramenta, devido ao acesso gratuito a diversas bases de dados disponíveis na internet, também podem ser considerados potencialidades que justificam a disseminação da sua utilização. Isso tem feito do mapeamento da fragilidade ambiental uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos como base para o planejamento territorial ambiental (Kawakubo et al., 2005). Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo realizar a análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, evidenciando as potencialidades e limitações ambientais de seu território, como subsídio ao poder público para a elaboração de políticas públicas que conciliem o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental.

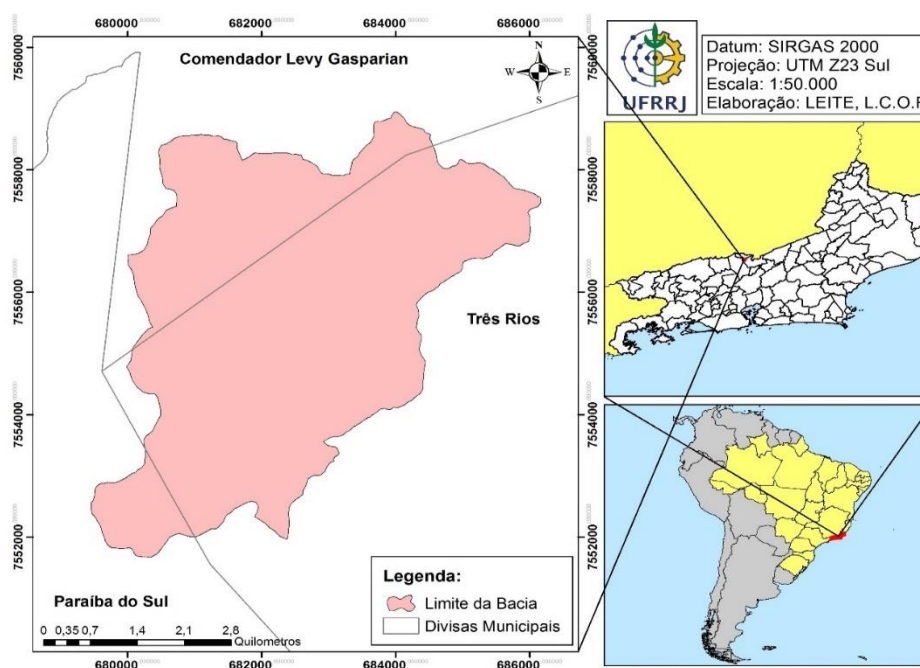
Material e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, localizada na Microrregião de Três Rios, Estado do Rio de Janeiro, possui área total de 2.603,09 ha divididos entre os municípios de Três Rios (1.829,5 ha), Comendador Levy Gasparian (629,49 ha) e Paraíba do Sul (144,1 ha) (Figura 1). A bacia é de 4º ordem na hierarquia fluvial e está inserida na Região Hidrográfica III - do Estado do Rio de Janeiro, sob atuação do Comitê de Bacia do Médio Paraíba do Sul e do Comitê

de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP). É afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul, em seu trecho de menor vazão, entre a sua transposição em Barra do Piraí (RJ) e o ponto de união do Paraíba do Sul com os rios Paraibuna e Piabanha no município de Três Rios (Três Rios, 2016).

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Cantagalo no Estado do Rio de Janeiro, Brasil.



Fonte: Autores.

Processos metodológicos

A metodologia aplicada foi adaptada da proposta por Ross (1994, 2012), em que informações a respeito dos componentes físicos, biológicos e sociais de um ambiente são representadas em Planos de Informação (PI's) e sobrepostas em um processo de análise multicritério. O resultado desse processo é um mapa de fragilidade ambiental, que serve de auxílio para que as intervenções humanas aproveitem as potencialidades locais e respeitem suas limitações de uso (Ross, 1994; Kawakubo et al., 2005; Costa et al., 2015).

Foi realizado um levantamento prévio dos componentes físicos, bióticos e antropogênicos que constituem o ambiente estudado, portanto, foram feitas buscas em bases de

dados gratuitas (Tabela 1), para se obter as informações necessárias. Para o presente trabalho foram considerados como componentes ambientais o uso e cobertura do solo, declividade, pluviosidade, tipo de solo, tipos de rochas, e Áreas de Preservação Permanentes (APP's).

Tabela 1- Informações utilizadas para o mapeamento da fragilidade ambiental, com suas respectivas fontes, bases de dados, DATUM e escala espacial.

Dados	Fonte	Base de Dados	Datum	Escala
Uso e cobertura do solo	IBGE	RJ 25 – 2018	SIRGAS 2000	1:25.000
Imagem SRTM (declividade)	USGS	-----	WGS 84	30 metros
Pluviosidade	INMET/ CLIMATEMPO	Estação Automática	-----	-----
Tipo de Solo	IBGE/EMBRAP A	Classificação dos solos do Brasil	SAD 69	1:5.000.000
Tipos de Rocha	CPRM	GeoSGB	WGS 84	1:1.000.000

Fonte: Autores.

Toda a análise espacial foi realizada no programa *ArcGis* 10.2.1. A delimitação da bacia foi feita com a criação de um polígono seguindo os divisores topográficos da bacia a partir da carta topográfica com as curvas de nível (1:25.000) da área, disponível na base de dados RJ-25 do IBGE (2018). Os dados brutos a respeito dos componentes ambientais extraídos das bases de dados foram, então, reprojatados para o datum SIRGAS 2000, com projeção *Universal Transverse Mercator* de coordenadas planas, Zona 23 Sul e recortados ao território da bacia.

Em seguida foram avaliadas as características de cada componente ambiental, dividindo cada um deles em classes menores conforme sua variação na área de estudo, como os tipos de uso e cobertura do solo, ou os tipos de rocha da área. Deste modo, com uso da ferramenta *Raster Reclass* as classes pertencentes a cada um dos componentes foram classificadas segundo seus índices de fragilidade ambiental definidos por revisão bibliográfica, recebendo pesos que variam de 1 que representa menor fragilidade, a 5 que representa uma fragilidade muito alta (Tabela 2). Tais dados, já classificados, passaram a representar os Planos de Informação (PI's) utilizados na etapa de sobreposição.

Tabela 2 - Classificação utilizada para atribuir valores às características dos componentes ambientais analisados, com seus respectivos autores.

Uso e cobertura do solo (ROSS, 1994)	
1-Muito alta	Área edificada
2-Alta	Pastagem
3-Média	Macega
4-Baixa	Massas d'água
5-Muito baixa	Matas
Declividade (ROSS, 1994)	
1-Muito fraca	Até 6%
2- Fraca	De 6% a 12%
3-Média	De 12 a 20%
4-Forte	De 20 a 30%
5- Muito forte	Acima de 30%
Pluviosidade (ROSS, 2012)	
1-Muito Fraco	Distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1.000 mm/ano;
2-Fraco	Distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2.000 mm/ano;
3-Médio	Distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno e, no verão, com maior intensidade de chuva de dezembro a março;
4-Forte	Distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem 70% a 80% do total de chuvas;
5-Muito Forte	Distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2.500 mm/ano; ou, ainda, comportamento pluviométrico irregular ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido).
Tipos de Solos (PEREIRA, 2014)	
1-Muito Baixo	Latossolo Vermelho Escuro;
4-Alto	Argissolo vermelho distrófico; Argissolo vermelho amarelo eutrófico
5-Muito Alto	Associação de neossolo litólico; Associação de gleissolos com neossolos; Gleissolos e Afloramento rochoso.
Tipo de rocha (CREPANI et al., 2001)	
2-Baixa	Granodiorito;
3-Média	Migmatitos.
Áreas de Preservação Permanente	
1-Muito Baixa	Demais áreas;
5-Muito Alta	Até 30 metros dos canais de drenagem; 50 metros ao redor dos lagos e 50 metros ao redor das nascentes.

Fonte: Autores.

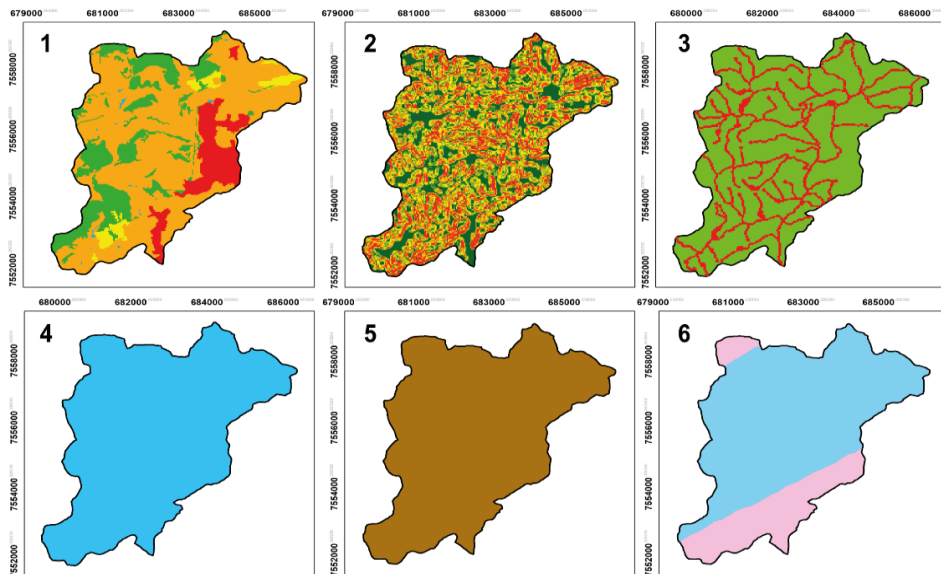
Antes da etapa de sobreposição foi adotado um procedimento onde os PI's foram transformados em conjuntos fuzzy através da função Fuzzy Membership. Esse procedimento transforma cada classe em um valor onde uma área está, provavelmente, incluída. e então sobrepostos através da ferramenta Fuzzy Overlay, dando origem ao mapa de fragilidade ambiental.

Resultados e discussões

Dados intermediários

Na Figura 2 é possível observar os PIs contendo os dados relativos a cada um dos conjuntos de informações obtidas para a análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo.

Figura 1. Planos de Informação utilizados da etapa de sobreposição para o mapeamento da fragilidade da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, Três Rios, RJ. Onde: APP's= Áreas de Preservação Permanente.



Legenda:

1 . Uso e cobertura do solo

- Mata
- Massas d'água
- Macega
- Pastagem
- Área edificada

2 . Declividade

- Até 6%
- De 6% a 12%
- De 12 a 20%
- De 20 a 30%
- Acima de 30%

3 . APPs

- APPs
- Demajs áreas

4 . Pluviosidade

- 1.362 mm/ano

5 . Tipo de solo

- Args. verm. distrófico

6 . Tipo de rochas

- Granodiorito
- Migmatito



Datum: SIRGAS 2000
 Projeção: UTM Z 23 S
 Escala: 1:60.000
 Elaboração: Leite, LCOF.

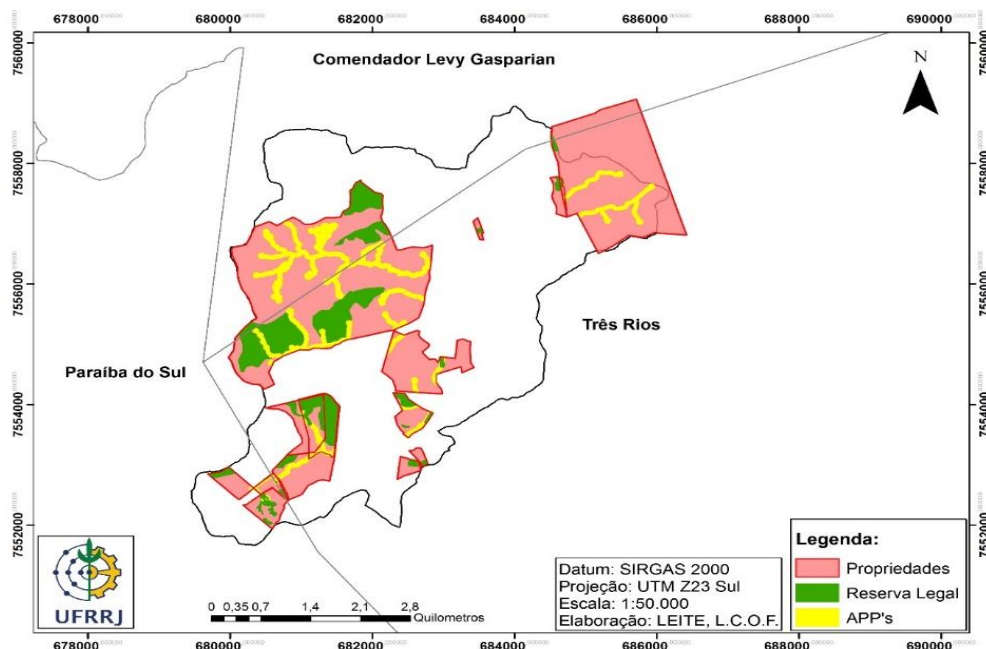
Fonte: Autores.

O uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do córrego Cantagalo (Figura 2) é dividido entre matas, massas d'água, macega, pastagem, e áreas edificadas. Tais classes receberam respectivamente os valores 5, 4, 3, 2 e 1, conforme seu índice de proteção do solo segundo a classificação de Ross (1994). A pastagem é a cobertura do solo predominante, abrangendo 1.683,06 ha (64,66%) da área total da bacia, enquanto as demais classes, em ordem decrescente ocupam, mata 532,0 ha (20,44%), área edificada 283,89 ha (10,91%), macega 97,53 ha (3,75%) e massas d'água 6,91 ha (0,27 %). É importante destacar que o termo macega se refere a regiões de vegetação de mato alto ou arbustiva, em altura suficiente para dificultar a passagem.

Na área de estudo, as zonas urbanizadas correspondem aos bairros trirrienses de Monte Castelo, Santa Teresinha, Boa União, Cidade Nova e o polo industrial do bairro Cantagalo, que sofreram expansão sem planejamento adequado. De acordo com Dobson, Bradshaw e Baker (1997), a exploração da paisagem pelo desmatamento, conversão de áreas naturais para atividades agrícolas e indústrias, e a consequente contaminação ambiental oriunda dessas atividades tem reduzido o habitat para muitas espécies, promovendo perdas de biodiversidade. Além disso, também podem afetar a dinâmica de bacias hidrográficas (Targa et al., 2012).

Observa-se que o território da bacia é representado, em sua maioria, por áreas rurais. Dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) (2018), apontam em seu território 14 propriedades rurais cadastradas, onde se localizam parte significativa dos fragmentos florestais da bacia (Figura 3). Juntas essas propriedades somam um total de 1.161,27 ha, com 160,68 ha destinados a composição de reserva legal e 143,98 ha de APP's. Esse número tende a ser maior quando a totalidade das propriedades estiverem cadastradas no CAR.

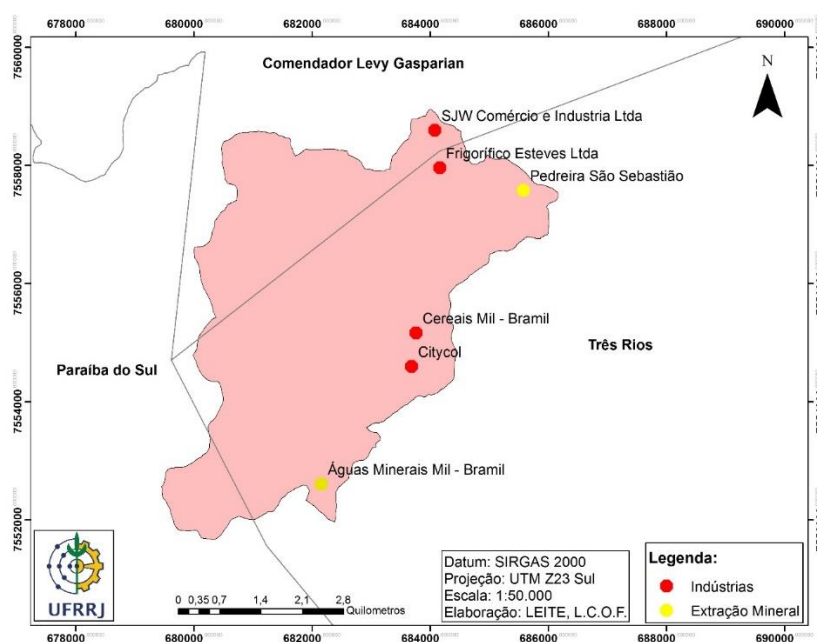
Figura 2. Propriedades rurais com Cadastro Ambiental Rural no território da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, Três Rios, RJ, com suas respectivas porções de Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente.



Fonte: Autores, 2019.

Segundo dados do IBGE (2018), existem pelo menos 5 indústrias e 1 ponto de extração mineral no território da bacia hidrográfica (Figura 4).

Figura 3. Principais atividades econômicas no território da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, Três Rios, RJ.



Fonte: Autores, 2019.

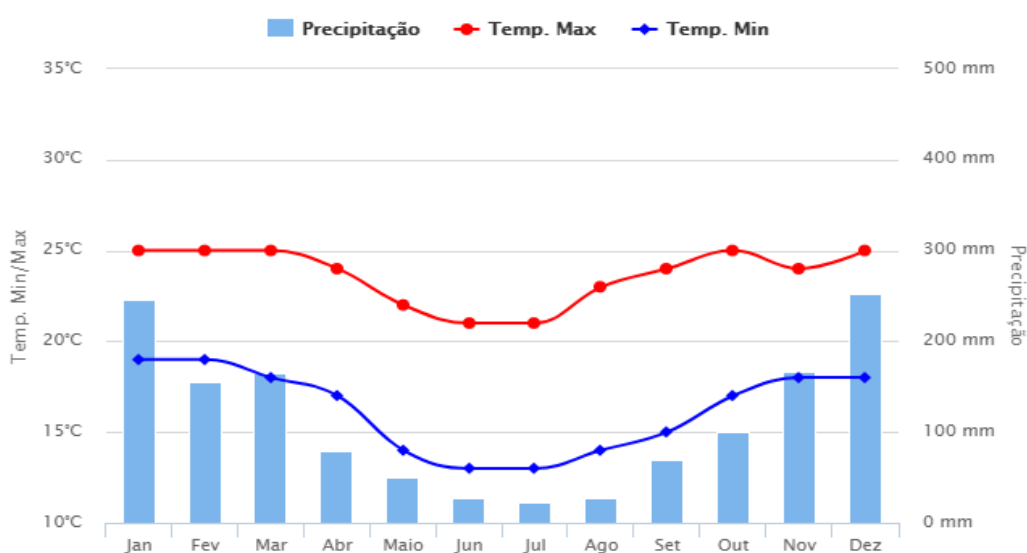
Dentre estas indústrias, duas são voltadas ao ramo alimentício (Frigorífico Esteves Ltda, Cereais Mil), uma ao ramo têxtil (Citycol), uma ao ramo de importação e exportação (SJW Comércio e Indústria Ltda), além de dois pontos de extração mineral (Águas Minerais Mil e Pedreira São Sebastião). A empresa Águas Minerais Mil apesar de produzir refrigerantes e outros produtos alimentícios, se enquadra na classe de extração mineral por atuar na extração de água mineral, diferente da Pedreira São Sebastião que é efetivamente um ponto de extração de produtos minerários.

Com a extração dos índices de declividade foi possível representá-las cartograficamente baseando-se na classificação proposta por Ross (1994) (Figura 2). O ponto mais íngreme da bacia possui 117,95 % de declividade, enquanto o mais plano possui 0 %. Entre as classes, a mais abrangente no território da bacia, representa declividades de até 6%, abrangendo 593,43 ha; seguida pela classe de 12 a 20% (568,67 ha); de 20 a 30% (503,84 ha); acima de 30% (482,32 ha) e de 6 a 12% (454,88 ha). Foram atribuídos, respectivamente, os valores 1, 3, 4, 5 e 2 às classes de declividade, de acordo com sua suscetibilidade a movimentos de massa e processos erosivos, conforme Ross (1994).

Inferir os índices de declividade de uma área é fundamental para o planejamento ambiental, pois permite compreender características como as formas de paisagem, susceptibilidade a erosão, potencial agrícola, restrições e riscos para a ocupação humana, manejos e práticas conservacionistas. Para isso, parte-se da premissa que áreas que se encontram em uma mesma classe de declividade, respondem de maneira parecida a determinados eventos. Vale ressaltar que a declividade deve ser analisada conjuntamente com fatores como o tipo de solo e a cobertura vegetal. Desse modo é possível obter resultados concretos quanto a estabilidade de determinada classe de declividade a movimentos de massas ou suporte a urbanização (Santos, 2004).

Os dados do sítio eletrônico ClimaTempo mostram uma pluviosidade média de 1.362 mm/ano, onde os meses com maiores índices também são dezembro (252 mm), janeiro (246 mm) e novembro (167 mm), enquanto os mais secos são julho (23 mm), junho (27 mm) e agosto (28 mm) (Figura 5). É possível observar conformidade entre os dados, apesar da diferença entre os períodos observacionais. Portanto, o fator pluviosidade recebeu valor 3 de acordo com a classificação de Ross (2012) para seu poder de interferência na estabilidade dos ambientes.

Figura 4. Variações das chuvas e da temperatura no município de Três Rios, RJ, baseados na média da série histórica de 1998 a 2018.



Fonte: ClimaTempo, 2018.

Do ponto de vista hidrológico a chuva é a principal forma de precipitação, devido a sua capacidade de gerar escoamento. A partir do momento que a capacidade de infiltração do solo é excedida e a precipitação prossegue, inicia-se o escoamento superficial (Paz, 2007). O impacto das gotas de chuva quando atingem o solo desprovido de cobertura vegetal pode desagregar partículas, que são então transportadas no escoamento, dando origem a processos de erosão pluvial e consequente sedimentação, diminuindo a capacidade de infiltração dos solos, ou mesmo causando assoreamento dos corpos hídricos (Lima, 2008). Maciel (2017) destaca que para se conhecer com precisão a relação entre a precipitação e a vazão de uma bacia hidrográfica, é preciso levar em conta como a água da chuva se relaciona com todos os demais componentes da bacia, como a sua forma, declividade, os padrões de uso e ocupação do solo e o tipo de solo, pois esses fatores determinam o tempo em que a água percorre a distância do ponto em que se precipitou até o exutório.

A bacia hidrográfica do córrego Cantagalo apresenta domínio de Argissolo Vermelho Distrófico. Foi atribuído valor 4 de acordo com sua susceptibilidade a processos erosivos de origem pluvial e física, segundo a classificação proposta por Pereira (2014). Jacomine (2009) define argissolos como solos constituídos por material mineral com presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por base baixa ou caráter alético, onde o horizonte B textural encontra-se imediatamente abaixo de qualquer horizonte superficial, exceto o hístico. Em casos de mudanças abruptas em sua textura, esses solos tendem a permanecer saturados entre o horizonte Bt e E em períodos chuvosos, promovendo alto escoamento superficial e alta erodibilidade.

A base rochosa da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo (Figura 2) é formada por 2 tipos de rochas, granodioritos e Migmatitos, que receberam valor 2 e 3, respectivamente, de acordo com sua resistência ao intemperismo, baseando-se na classificação proposta por Crepani et al. (2001). O migmatito é a rocha mais abundante na bacia, abrangendo 2.008,49 ha (77,16%) de seu território, enquanto o granodiorito ocupa 594,80 (22,84%).

A bacia do córrego Cantagalo possui 460,82 ha de APP's, que correspondem a 18% do seu território (Figura 2). Dessas áreas de APP, 288,13 ha (62%) estão cobertas por pastagem, 104,79 ha (23%) estão cobertas por fragmentos florestais, 51,01 ha (11%) estão em áreas edificadas e 16,89 ha (4%) com cobertura vegetal de macega. O Código Florestal Federal define

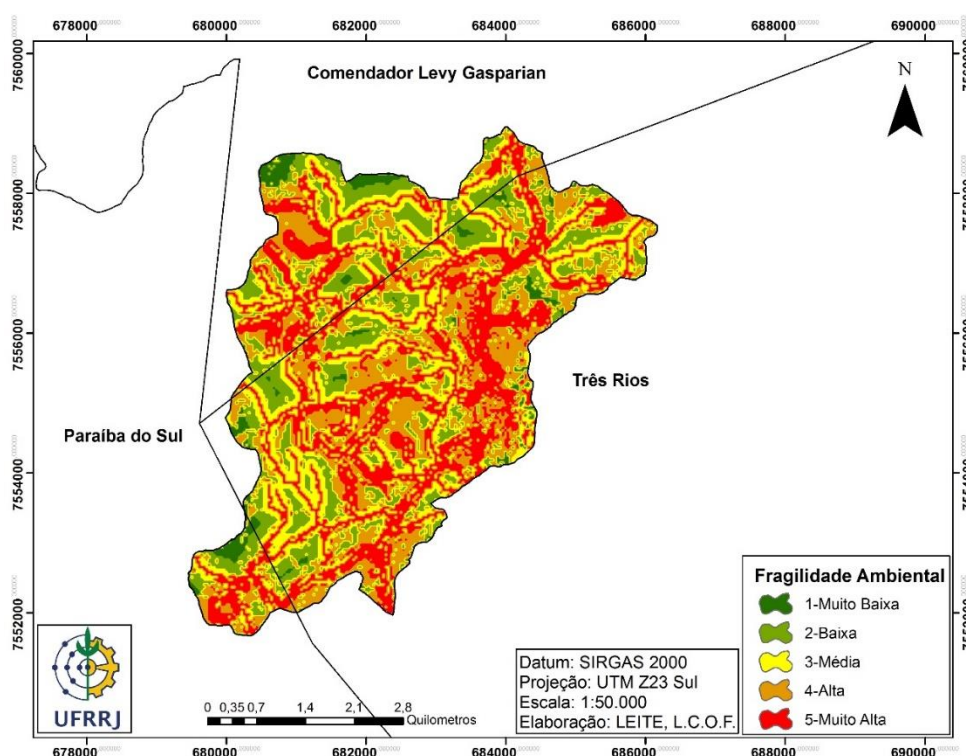
as áreas de preservação permanente como áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

Todas as áreas de APP protegidas pelo código florestal receberam valor 5-Muito Alta Fragilidade Ambiental, enquanto as demais áreas receberam valor 1-Muito Baixa. Silva (2010), relata diversos serviços propiciados pelas áreas de vegetação ciliar, tanto à biodiversidade, se vistas como corredor ecológico e habitat de espécies da flora e fauna local, quanto para a gestão e conservação dos recursos hídricos, por meio da redução dos impactos de fontes poluidoras de áreas a montante através de mecanismos de filtragem, barreira física e reações químicas; minimização do assoreamento e contaminação dos corpos hídricos por lixiviação e escoamento superficial de agregados do solo e poluentes; estabilização dos solos marginais, minimizando processos erosivos e solapamentos das margens; e redução das flutuações de temperatura nas águas dos rios.

Fragilidade ambiental

O resultado da etapa de sobreposição dos PI's está representado na Figura 5. Observa-se a predominância de áreas com fragilidade ambiental 5-Muito Alta, que cobrem 830,22 ha (32%) da área total da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo. A segunda classe mais abrangente é a de 2-Média fragilidade ambiental, cobrindo 583,32 ha (23%) da área total, seguida pelas classes 4-Alta 572,41 ha (22%), 2-Baixa 524,61 ha (20%) e 1-Muito Baixa 88,13 ha (3%).

Figura 4. Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Cantagalo, Três Rios, RJ, Brasil.



Fonte: Autores, 2019.

As áreas mais frágeis da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo, classificadas com fragilidade ambiental 5-Muito Alta são, em sua maioria, áreas edificadas próximas às APP's, APP's com ocupação irregular, com cobertura vegetal degradada pela pastagem e com elevada declividade. Tal resultado se mostra diretamente relacionado aos fatores Uso e Cobertura do Solo, Declividade de APP's. De acordo com Cortines et al. (2016) a situação das margens e da calha do córrego Cantagalo é preocupante, apresentando pontos de lançamento de esgoto e assoreamento do talvegue por acúmulo de sedimentos finos, além de áreas de instabilidade das margens, que apresentam cobertura vegetal esparsa que, quando presente, não excede metade da largura do canal e é composta principalmente por espécies exóticas como o capim colômbio e braquiária, ou espécies frutíferas cultivadas em jardins e pomares particulares. Na Figura 6 é possível observar pontos de lançamento de esgoto e a presença de resíduos sólidos na bacia.

Figura 6. Pontos de lançamento de esgoto e presença de resíduos sólidos no córrego Cantagalo, Três Rios, RJ.



Fonte: Autores, 2019.

Segundo Attanasio (2008) os ambientes ciliares são zonas prioritárias para a restauração. E, por serem protegidos por lei, tornam-se, conseqüentemente, locais com potencial para ocorrências de irregularidades ambientais. Dentre estas irregularidades, a falta de sistemas adequados de tratamento de esgoto pode contribuir para o lançamento de substâncias químicas ou mesmo resíduos sólidos, que são prejudiciais aos ecossistemas aquáticos (Santos, 2005).

Dados do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Três Rios (2016), mostram que o município apresenta 83,8% de coleta de esgoto, enquanto 42,4% do volume coletado recebe tratamento e o restante é lançado *in natura* nos corpos hídricos, principalmente

no rio Paraíba do Sul. No entanto, percorrendo a bacia percebeu-se o lançamento de esgoto no corpo hídrico sem nenhum tipo de tratamento e coleta, contrapondo estes dados do PMSB. Riente (2017), também observou em pontos da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo a presença de matérias flutuantes, espumas não naturais, óleos e graxas, substâncias que exalam odor, corantes provenientes de fontes antrópicas e resíduos sólidos objetáveis, resultantes da exploração inadequada de suas microbacias.

Percebemos, assim, que além dos impactos físicos e biológicos gerados pela urbanização, o comportamento político e administrativo também interfere na dinâmica dos recursos hídricos. A disputa por recursos na administração urbana faz com que ações que disciplinam o uso do solo sejam dificultadas e medidas de médio e longo prazo sejam deixadas em segundo plano. Juntamente a isto, existem fatores como a falta de conhecimento dos problemas e suas causas por parte da população e dos profissionais envolvidos nesta problemática; concepções inadequadas dos profissionais no planejamento e controle dos sistemas; visão setorializada do planejamento urbano, onde este é feito sem incorporar aspectos ambientais; e a falta de capacidade gerencial nos casos onde municípios não contam com estrutura para lidar com os aspectos da água no meio urbano (Tucci, 2001; Tucci, 2008).

As zonas de fragilidade ambiental 4-Alta, são representadas por áreas de pastagens com grande variação de relevo e edificações localizadas em áreas com declividade elevada. O fator declividade apresentou alta interferência sobre esta classe, assim como o Uso e Cobertura do Solo. Além do risco à ocupação, a declividade está ligada aos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Em áreas de maior declividade o escoamento superficial ocorre com uma velocidade elevada e em menor tempo, o que diminui a possibilidade de infiltração da água no solo, influenciando por consequência nos processos erosivos, no nível de umidade do solo e no tempo de concentração da precipitação no leito dos corpos hídricos (Lima, 2008).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011), topos de morro e encostas conservadas possuem grande valor para a manutenção da biodiversidade, quando observadas do ponto de vista ecológico. E, se analisadas do ponto de vista hidrológico, são zonas de recarga de aquíferos e abastecimento das nascentes. Porém, quando apresentam cobertura vegetal degradada, tornam-se suscetíveis a deslizamentos e desbarrancamentos. Conforme relata Teixeira (2015), essas áreas devem ser manejadas de maneira

conservacionista, potencializando suas funções hidrológicas através da manutenção de boas condições de infiltração para a recarga hídrica da bacia e seus aquíferos.

As áreas de 3-Média fragilidade ambiental são caracterizadas por zonas marginais às APP's e áreas edificadas com declividade moderada. Os fatores Uso e Cobertura do Solo e Declividade foram, novamente, os que mais influenciaram no resultado. Observa-se que áreas de borda das APP's, mesmo quando cobertas por matas e fora do limite imposto pela legislação, apresentaram 3-Média fragilidade ambiental. Tal fato pode ser interpretado como um indicativo que reforça a importância da conservação das APP's para a manutenção do pleno funcionamento de bacias hidrográficas.

A classe 2-Baixa fragilidade ambiental se caracteriza, em sua maioria, por áreas de pastagem com moderada declividade, indo de áreas com menos de 6% a pontos com até 30% de declividade. O fator Uso e Cobertura do Solo mostrou forte influência no resultado, visto que áreas com cobertura vegetal de mata ou macega, mesmo com mais de 30% de declividade e em topos de morro, foram inclusas na classe de 2-Baixa fragilidade. Tal fato demonstra a importância da cobertura vegetal para a estabilização de ambientes. Oliveira (2017), relata que áreas de pastagem manejadas de modo inadequado estão sujeitas a impactos negativos. A superlotação do pasto reduz sua produtividade e degrada a cobertura vegetal; o pisoteio constante causa compactação, reduzindo os volumes de infiltração da água, aumentando consequentemente o escoamento superficial, que colabora para o surgimento de processos erosivos e assoreamento dos corpos hídricos.

As áreas de 1-Muito baixa fragilidade ambiental estão relacionadas, principalmente, a áreas centrais de fragmentos florestais, com baixa declividade e fora de APP's. Porém, observou-se pontos isolados em áreas edificadas, com relevo plano e fora de APP's que também estão incluídos nesta classe. A regularização das propriedades rurais através da recuperação das porções de reserva legal e das APP's propostas pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR), pode ser vista como uma oportunidade para a conservação ambiental no território da bacia. É importante destacar que o Código Florestal (Brasil, 2012) impõe obrigação ao proprietário rural de restauração destas áreas.

Com a recuperação das porções de reserva legal sem cobertura vegetal adequada, ao redor dos fragmentos florestais seria possível elevar para 565.03 ha a área coberta por mata,

melhorando sua estrutura. A conectividade também pode ser melhorada através da restauração das APP's, que podem atuar como corredores ecológicos, aumentando o fluxo da biodiversidade, além de contribuírem para a manutenção da disponibilidade de água em qualidade e quantidade adequada, e redução do risco de processos erosivos.

Considerações finais

De um modo geral, o mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Cantagalo foi eficaz para determinar as áreas mais sujeitas a fenômenos naturais perigosos e degradação ambiental. Dentre os componentes ambientais considerados no estudo, o uso e cobertura do solo, declividade e APP's foram os que mais influenciaram os resultados. O território da bacia é predominantemente coberto por áreas de muito alta fragilidade ambiental, um reflexo da urbanização desordenada, ocupação irregular de APP's, da baixa cobertura de mata e predominância de pastagens.

Desta forma, se fazem necessárias medidas capazes de promover o desenvolvimento sustentável em seu território. Estudos que considerem a viabilidade econômica e a conformidade com o cenário socioeconômico da bacia na proposição de técnicas que possam ser empregadas para tal objetivo, como manejo de pastagens, saneamento ecológico, sistemas agroflorestais e programas de pagamentos por serviços ambientais, são de extrema importância. Podendo, inclusive, atuar como um complemento ao mapeamento da fragilidade ambiental.

Referências

ALMEIDA, C. R. D. **O papel do plano diretor na organização espacial das cidades: O caso do município de Três Rios.** Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído). Juiz de Fora: UFJF, 2012.

ATTANASIO, C. M. **Manual técnico: Restauração e Monitoramento da Mata Ciliar e da Reserva Legal para a Certificação Agrícola – Conservação da biodiversidade na cafeicultura.** Piracicaba: IMMAFLORA, 2008. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municípioverdeazul/2011/11/Manual.pdf> . Acesso em: 31 de julho de 2019.

BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A.; QUÉNOL, H. **Sensoriamento remoto e sig aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica.** Mercator, vol. 14, p. 119-135, 2015.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651 de 12 de março de 2012**. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-normaatualizada-pl.pdf>>. Acesso em: 31 de julho de 2019.

CLIMATEMPO. **Média Histórica - Três Rios**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/330/tresrios-rj>>. Acesso em: 15 set. 2018.

CORTINES, E.; MATOS, A. A. S.; PINTO, N. P.; FERRAZ, R. N. F. (2016) **Avaliação de leitos fluviais: dados preliminares da sub-bacia do Córrego Cantagalo, Três Rios-RJ**. Anais do 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade, p. 596–601. Disponível em: <<http://itr.ufrj.br/sigabi/anais/5osigabi/>>. Acesso em: 02 de novembro de 2018.

CORVALÁN, S. B.; GACIA, G. J. **Avaliação Ambiental da APA Corumbataí segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal**. Geociências, vol. 30, p. 269–283, 2011.

COSTA, C. W.; PIGA, F. G.; MORAES, M. C. P.; DORICI, M.; SANGUINETTO, E.C.; LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E.; LORANDI, R.; OLIVEIRA, L. J. **Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas : Manancial do Rio das Araras – Araras, SP**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 20, p. 946–958, 2015.

CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **GeoSGB – Dados, Informações e Produtos do Serviço Geológico Brasileiro**. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acessado em 17 de agosto de 2018.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ, F. P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. INPE. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>>. Acesso em: 31 de julho de 2019.

DOBSON, A.; BRADSHAW, A.; BAKER, A. **Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology**. *Science*, vol. 277 p. 515–52, 1997.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil. Escala de 1:5.000,000**. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php>. Acesso em: 17 de agosto de 2018.

FARIA, D. C. **Análise da arborização urbana e da percepção de seus benefícios pela população do município de Três Rios-RJ**. Monografia (Bacharel em Gestão Ambiental). Três Rios: UFRRJ, 2014.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **BC25_RJ - Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro**, 2018. Disponível em:

<ftp://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/>. Acesso em: 17 de agosto de 2018.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados em gráficos**. Estações Automáticas. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2018.

JACOMINE, P. A. **Nova Classificação Brasileira de Solos**. Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônomicas. vol. 8-9. p. 161-179, 2009.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, 2005. Disponível em: <<http://mar.te.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.10/doc/2203.pdf>>. Acesso em: 6 de agosto de 2018.

LEAL, G. C. S. G.; FARIAS, M. S. S.; ARAUJO, A. F. **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. Qualitas, vol. 7, p. 1–11, 2008.

LIMA, E. C.; SILVA, E. V. **Estudos geossistêmicos aplicados a bacias hidrográficas**. Revista Equador, vol. 4, p. 3–20, 2015.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Departamento de Ciências Florestais Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”. Piracicaba: USP, 2008. Disponível em: <<https://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 31 de julho de 2019.

LOURENÇO, R. M. **Diagnóstico físico-conservacionista como aporte para a análise da degradação no médio curso da bacia hidrográfica do rio Aracatiaçu (CE) – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Fortaleza, CE: UFCE, 2013.

LOURO, C. A. L.; MENEZES, J. **O planejamento na gestão ambiental urbana dos municípios brasileiros**. Caderno de Estudos Geoambientais, vol. 3, p. 62-75, 2012.

MACIEL, S. A. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Uberlândia: UFU, 2017.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação X Áreas de Risco - O que uma coisa tem a ver com a outra?** Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro. Schäffer WD, Rosa MR, Aquino LCS, Organizadores. Brasília, DF, 2011.

OLIVEIRA, O. J. S. Impacto ambiental decorrente da atividade agropecuária na bacia do Córrego do Macuco, Capitão Andrade – Minas Gerais. **Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Minas Gerais**, 2017. Disponível em:

<http://www3.ifmg.edu.br/site_campi/v/images/arquivos_governador_valadares/TC68C_Ozei.as.pdf>. Acesso em: 5 de maio de 2018.

OLIVEIRA, T. J. F. **Técnicas para recuperação de mata ciliar do rio Paraíba do Sul, na região Noroeste Fluminense**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Campos dos Goytacazes: UENF, 2014.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. 138 p, 2007. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acesso em: 17 de outubro de 2018.

PEREIRA, R. V. **Análise da fragilidade ambiental a processos erosivos no município de Campos Gerais-MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Juiz de Fora: UFJF, 2014.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETE, M. E. A Utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. F. M.; Editores. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Editus.Ilhéus, BA. 293 p, 2002.

RIENTE, L. A. **Efeitos do antrópicos na qualidade da água do Córrego Cantagalo – Três Rios/RJ**. Monografia (Bacharel em Gestão Ambiental) Três Rios: UFRRJ, 2017.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. *vol.* 8, p. 63–74, 1994. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>>. Acesso em 4 de abril de 2018.

ROSS, J. L. S. **Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities**. Revista do Departamento de Geografia – USP, vol. especial 30 Anos p. 38-51, 2012.

SANTOS, J.O.; ROSS, J. L. S. **Fragilidade Ambiental Urbana**. Revista Da ANPEGE *vol.* 10, p. 127–144, 2012.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficinas de Texto. 170 p., 2004.

SANTOS, W. L. **O processo de urbanização e impactos ambientais em bacias hidrográficas: o caso do Igarapé Judia-Acre-Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) Rio Branco: UFAC, 2005.

SILVA, G. A. B.; DAVID, P. L. D. **A utilização do SIG para o planejamento urbano**. ANAP Brasil. *vol.* 12, p.79–89, 2017.

SILVA, L. A. **As Áreas de Preservação Permanente (APP's) dos corpos d'água urbanos: um espaço híbrido**. 5º Encontro da ANPPAS, 2010. Disponível em:

<<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT12-823-933-20100903192602.pdf>>

Acesso em: 12 de agosto de 2018.

SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO AMBIENTAL RURAL – **Consulta Pública**.

Disponível em: <<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>>. Acesso em: 05 de novembro de 2018.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação (Mestrado em Geografia). São Paulo: USP, 2001.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. Tese (Doutorado em Geografia). São Paulo: USP, 2007.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil**. *Ambiente & Água*, vol. 7, p. 120–142, 2012.

TEIXEIRA, G. M. **Serviços ambientais hidrológicos das Áreas de Preservação Permanente em topo de morros**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Seropédica: UFRRJ, 2015.

TRÊS RIOS. **Plano Municipal de Saneamento Básico e Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Três Rios- RJ**. vol. 1, 2016 Disponível em: <<https://saaetri.com.br/noticia/44:plano-municipal-de-saneamento-basico-e-apresentado-aos-trirrienses>> . Acesso em: 10 de outubro de 2018

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, vol. 22, p. 97–112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2º ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 943 p. 2001.

USGS – United States Geological Service. **Earth Explorer**. SRTM. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 15 de junho de 2018.

Recebido em 18 de setembro de 2023.

Aceito em 10 de janeiro de 2024.

Publicado em 08 de fevereiro de 2024.