

FRAGILIDADE AMBIENTAL: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO E À GESTÃO DA BACIA DO RIBEIRÃO DA LAJE (GO), BRASIL

ENVIRONMENTAL FRAGILITY: SUBSIDIZE FOR THE PLANNING AND MANAGEMENT OF THE RIVER BASIN OF RIBEIRÃO DA LAJE (GO), BRAZIL

Wellmo dos Santos Alves *
Alécio Perini Martins**
Iraci Scopel**

Resumo:

Considerando os impactos negativos causados por ações antrópicas aos recursos hídricos, sendo estes importes em quantidade e qualidade para a continuidade e equilíbrio da vida na Terra, objetiva-se, utilizando geotecnologias, determinar a fragilidade ambiental da bacia do ribeirão da Laje, uma das principais fontes de água usada no abastecimento público de Rio Verde (GO). Foram observadas maiores áreas com fragilidade potencial e emergente variando de muito baixa a baixa, propícias para agropecuária. Entretanto, a ocorrência de declividades com maior grau de influência nos processos erosivos, solos de fragilidade forte e muito forte e predominância de área com menor grau de proteção dos solos, proporcionam a formação de áreas com fragilidade potencial variando de média a forte e emergente média. Essas áreas com maior fragilidade, associadas ao uso e manejo inadequados do solo, estão causando prejuízos ambientais e econômicos, indicando a necessidade de planejamento ambiental e agrônômico adequados. Estes resultados irão subsidiar o planejamento e a gestão da bacia hidrográfica homônima, além de servir de base para outros estudos, contribuindo para a conservação dos recursos hídricos, melhor qualidade ambiental e de vida.

* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde/IF Goiano - Campus Rio Verde.

** Professor na Universidade Federal de Goiás (UFG)/Regional de Jataí.

Abstract:

Due to negative impacts caused by anthropic actions to water resources, the latter being important in quantity and quality for the continuity and balance of life on Earth, it was an objective, through geotechnologies, to determine the environmental fragility of the watershed of Ribeirão da Laje, one of the main water sources used in the public supply in Rio Verde (GO). We observed major areas with potential and emergent fragilities varying from very low to low, propitious to farming. However, the occurrence of declivity with a major degree of influence in the erosive processes, soils of strong and very strong fragility, predominance of areas with a smaller degree of soil protection provide the formation of areas with potential fragility varying from average to strong and average emerging fragility. These areas with major fragility associated to the use and inappropriate use of the soil are causing environmental and economic losses, indicating the need to proper environmental and agronomic planning in the territorial unit in question. These results will subsidize the planning and management of the homonym watershed, besides serving as a foundation to other studies, contributing with information for the preservation of water resources.

Palavras-chave:

fragilidade emergente;
fragilidade potencial;
geotecnologias; unidades
ecodinâmicas.

Keywords:

emerging fragility; poten-
tial fragility; geotechnolo-
gies; ecodynamics unities.

1. INTRODUÇÃO

No decorrer do processo de ocupação do território brasileiro, diversos impactos negativos tem sido causados ao ambiente, sobretudo aos recursos hídricos. Com a expansão das cidades, da indústria e da agropecuária, muitas vezes sem planejamento ou gestão ambiental adequados, esses impactos aumentaram consideravelmente, alguns de forma irreversível.

O conhecimento das condições ambientais é fundamental para o entendimento de sua dinâmica, bem como para um manejo mais adequado dos recursos naturais, possibilitando, dessa forma, o uso sustentável de tais recursos (AQUINO et al., 2016). O estudo geossistêmico da paisagem fornece subsídios ao planejamento e à gestão ambiental de unidades territoriais, como, por exemplo, de bacias hidrográficas. Esse estudo foi aprimorado por diversas escolas no decorrer dos anos.

As escolas da Ecologia da Paisagem e dos Geossistemas evoluíram em diversos países: União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), onde Sochava (1978), em 1960, criou a concepção de geossistemas; França, onde Bertrand (1972), em 1968, a partir da teoria russa, estabeleceu o geossistema, geofácies e geótopos como unidades inferiores taxonômicas; e na Alemanha Oriental e Ocidental, onde passa a ser chamada de geocologia, por diversos autores que buscavam as relações entre os elementos da paisagem sob uma perspectiva sistêmica e ecológica (CUNHA e FREITAS, 2004).

Conforme destacam Cunha e Freitas (2004), a noção de geossistemas, original da escola russa, procura aplicar os métodos sistêmicos no estudo da paisagem, trazendo repercussões em outras escolas geográficas, entre estas, a brasileira.

No Brasil, o estudo integrado do meio ambiente tem contribuições de: Christofletti (1999), que define o geossistema como resultado da combinação de um potencial ecológico (geomorfologia, clima, hidrologia), uma exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e uma ação antrópica, não apresentando, necessariamente, homogeneidade fisionômica, e sim um complexo essencialmente dinâmico, destacando a importância da análise integrada para planejamento e gestão ambiental; Monteiro (2001), que, entre outras abordagens, analisa a busca da noção de geossistemas como um conceito integrador da relação homem-natureza na Geografia; Cunha e Guerra (2000), que ressaltam a importância da bacia hidrográfica como elemento básico para análise ambiental integrada.

Entre as metodologias usadas nos estudos do meio físico natural e antropizados do ambiente no Bra-

sil, destacam-se a proposta de Ross (1994) e a de Crepani et al. (2001), sendo estas com base na ecodinâmica de Tricart (1977).

Ross (1994) propõe que a fragilidade ambiental se fundamenta no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas. Conforme Tricart (1977) esse princípio baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica, concepção ecológica em que o ambiente é analisado sob o prisma da Teoria do Sistema que parte do pressuposto que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações em equilíbrio dinâmico.

A metodologia de Crepani et al. (2001) foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica e na reinterpretação de dados temáticos preexistentes com a utilização de imagens de satélite, que permitem uma visão sinótica e holística da paisagem.

O equilíbrio dinâmico é, muitas vezes, alterado pelo homem, gerando estados de desequilíbrios reversíveis ou irreversíveis. Neste último caso, tem-se como exemplo, a exploração intensiva das terras em busca de ganhos em produtividade, por meio de desmatamento de grandes áreas para produção agropecuária, deixando unidades territoriais, como bacias hidrográficas, susceptíveis à erosão, ao assoreamento de cursos hídricos e a outros danos ambientais.

A fragilidade ambiental é relacionada com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural, como propensão da declividade e dos solos à erosão, quanto antropogênica, como uso e manejo inadequados do solo (ALVES, 2016). Assim, é importante entender dois conceitos: fragilidade potencial e fragilidade emergente. Conforme Ross (1994), a primeira refere-se à fragilidade natural de um ambiente em função de seus atributos físicos (declividade, tipo de solo e erosividade), e a segunda, aos graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra em relação ao meio.

Tricart (1977) afirma que a organização ou reorganização do território exige diagnóstico preliminar que permita o conhecimento das características e das aptidões e, principalmente, das limitações das áreas a serem utilizadas, a fim de escolher corretamente o tipo de uso da terra e cobertura vegetal compatíveis com tais limitações.

A partir da proposta de ROSS (1994), podem ser consideradas declividade, solos, erosividade e uso da terra e cobertura vegetal como importantes componentes que devem ser analisados de forma integrada para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental. Conforme Santos (2015), a análise da fragilidade exige que esses componentes sejam avaliados de forma integrada, an-

corados numa perspectiva sistêmica e holística de modo a envolver a complexidade destas com as atividades humanas.

As geotecnologias (Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, *Global Positioning System* - GPS, Cartografia Automatizada, Sistema de Informação Geográfica - SIG), possibilitam uma análise integrada do ambiente de forma a entender como questões relacionadas às alterações ambientais se comportam no espaço, tornando possível que o ambiente seja estudado em parte e entendido como um todo (ROSA, 2005; PIRES, 2012).

Com o uso das geotecnologias é possível, com rapidez e de forma econômica, gerar os produtos cartográficos tais como declividade, tipos de solos, erosividade, uso da terra e cobertura vegetal. E a partir destes produtos, gerar o mapa de fragilidade potencial (integração do mapa de declividade com o mapa de solos e erosividade) e o mapa de fragilidade emergente (integração do mapa de fragilidade potencial com o mapa do uso da terra e cobertura vegetal), sendo estes importantes informações para o planejamento e gestão ambiental dos recursos hídricos.

Na análise da fragilidade ambiental, com base na metodologia proposta por Ross (1994), com o uso de geotecnologias, aplicado no estudo da bacia do Rio Doce (CABRAL et al., 2011), bacia da Usina Hidrelétrica - UHE Foz do Rio Claro (QUEIROZ JUNIOR et al., 2015), bacia do ribeirão das Abóboras (ALVES et al., 2017), localizadas no Sudoeste de Goiás, os autores obtiveram resultados interessantes para o planejamento e a gestão ambiental dessas unidades territoriais.

Nessa perspectiva, este trabalho objetiva analisar a fragilidade ambiental da bacia do ribeirão da Laje, importante fonte de água para usos múltiplos, localizada no Sudoeste de Goiás, com o uso da metodologia proposta por Ross (1994) adaptada e de geotecnologias, e disponibilizar dados para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental dessa bacia hidrográfica.

2. MATERIAL E MÉTODO

As bases de dados geográficos usadas neste estudo foram obtidas nas plataformas do *United States Geological Survey* (USGS), do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) e do Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa (BDMEP). A etapa de geoprocessamento foi realizada no ArcGIS 10.1^o licenciado para o laboratório de Geoinformação da Universidade Federal de Goiás/Regional de Jataí.

2.1 Características gerais e localização da área de estudo

A bacia do ribeirão da Laje está localizada na microrregião Sudoeste de Goiás, nos municípios: Rio Verde, Santa Helena de Goiás e Santo Antônio da Barra (Figura 1).

O município de Rio Verde é a quarta economia de Goiás e o principal município da microrregião Sudoeste de Goiás, com crescimento expressivo da população, que corresponde a quarta maior do estado.

O Sudoeste de Goiás destaca-se, a partir da década de 1970, como modelo da modernização agropecuária implantada no Brasil. Apresenta altos índices de produção agropecuária, com destaque para soja, milho, cana-de-açúcar, aves, bovinos e suínos. Possui diversas empresas instaladas, principalmente agroindústrias.

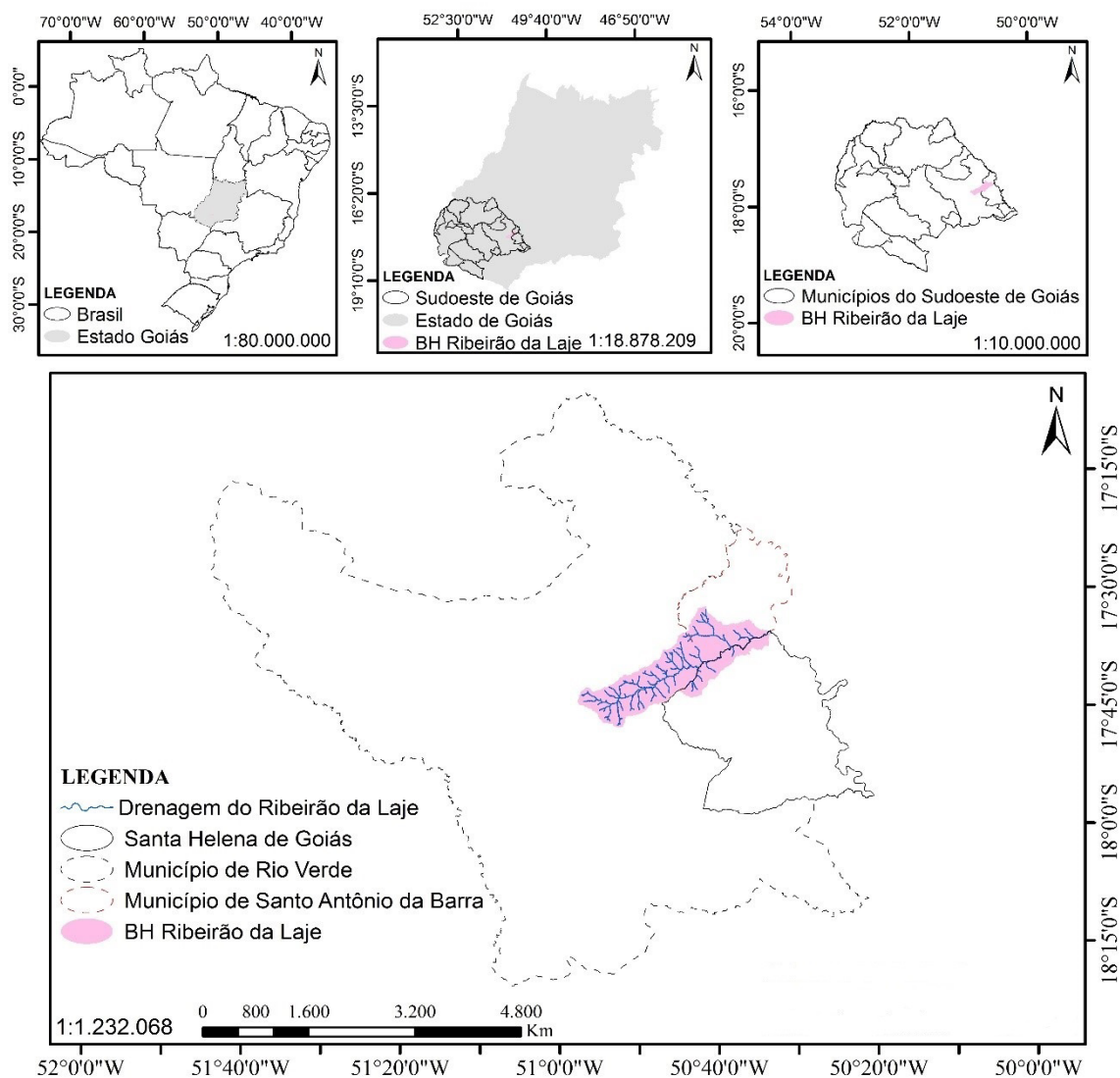
A população rio-verdense aumentou 83,19% de 1991 a 2010, e 14,89% de 2010 a 2015; passou de uma população de 176.424 habitantes, em 2010, para 217.048 habitantes (estimativa) em 2017, um aumento de 23,03%. O município de Santa Helena de Goiás apresenta uma população estimada de 38.743 pessoas, e o município de Santo Antônio da Barra, de 4.780 pessoas (IBGE, 2018). Os três municípios apresentam economia baseada na produção agropecuária, sendo o primeiro, modelo na produção agropecuária nacional.

A nascente principal do ribeirão da Laje situa-se no município de Rio Verde, nas coordenadas geográficas 50°56'32,449"W e 17°43'17,873"S, e deságua na margem direita do curso hídrico denominado Rio Verde, também conhecido regionalmente como Rio Verdão, nas coordenadas geográficas 50°33'51,186"W e 17°35'40,462"S. Apresenta área de drenagem de 431,55 km², sendo 249,62 km² (57,84%) no município de Rio Verde, 112,98 km² (26,18%) no município de Santo Antônio da Barra e 68,95 km² (15,98%) no município de Santa Helena de Goiás (Figura 1).

É uma das principais fontes fornecedoras de água para o abastecimento público de Rio Verde (GO), fornecendo de 100 a 110 L.s⁻¹ (litros por segundo), além de ser fonte de água para outros usos, como irrigação e produção animal. Na área de drenagem desse ribeirão constam: área urbanizada em expansão; diversas propriedades rurais com produção agropecuária intensiva (principalmente) e extensiva; dezesseis pivôs centrais de grande porte e vazão, concentrados na parte baixa da média bacia, principalmente para a produção de soja e milho; vinte e três granjas de grande porte para a produção de aves e suínos; e outros usos.

dos, cerradões e formações campestres, com remanescentes localizados principalmente entre os vales

Figura 1 - Localização da bacia do ribeirão da Laje



Fonte: Arquivos shapefile disponibilizados pelo SIEG (2017) e organizados pelos autores, no Sistema de Coordenadas Geográficas - Datum Sirgas 2000.

fluviais na forma de matas de galeria e ciliar. O clima é enquadrado no tipo AW, caracterizado por ambientes úmidos tropicais, com duas estações bem definidas: seca no inverno, de maio a outubro, e úmida no verão, de novembro a abril (PEEL et al., 2007).

2.2 Bases de dados e processamento

As atividades para elaboração dos produtos cartográficos finais foram divididas em três etapas:

- Obtenção das bases nos bancos de dados de órgãos públicos;
- Organização, elaboração e validação dos mapas de declividade, tipos de solos, erosividade e uso da terra

e cobertura vegetal.

- Integração dos produtos cartográficos para elaboração do mapa da fragilidade potencial e fragilidade emergente. Também foram realizados trabalhos de campo para compreensão e interpretação dos resultados.

2.2.1 Primeira etapa

Os produtos cartográficos para o estudo da fragilidade ambiental foram elaborados a partir das bases de dados que serão apresentadas a seguir. Ressalta-se que para o cálculo das áreas de interesse, foi usada a projeção UTM.

Imagem *Shuttle Radar Topography Mission*

(SRTM), com resolução espacial de 30 30 m (USGS, 2017);

Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)/Fundação Rural Minas (Ruralminas); modelagem, alimentação do SIG e edição das cartas pela Superintendência de Geologia e Mineração - SGN (2005)/Secretaria estadual de Indústria e Comércio de Goiás – SIC (2005), disponibilizado pelo SIEG (2017);

Imagem da órbita/ponto 223/72 do Satélite Landsat 8/Sensor OLI, com resolução espacial de 30 m, resolução radiométrica de 16 bits, de 7 de junho de 2017, (USGS, 2017);

Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, elaborada pela Agência Nacional de Águas, geração de 22 de julho de 2006 (ANA, 2006); revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da carta pela Superintendência de Geologia e Mineração – SGM (2006)/Secretaria Estadual de Indústria e Comércio – SIC (2006), disponibilizada pelo SIEG (2017).

Para o estudo da erosividade, foram levantados dados de precipitação da estação 83470 de Rio Verde (GO), observados de um período de 22 anos (1996 a 2017), disponibilizados pelo BDMEP (2018). Em decorrência de muitos meses anteriores ao ano de 1996 não terem sido registradas precipitações, decidiu-se usar os dados pluviométricos obtidos a partir de 1996.

2.2.2 Segunda etapa

A partir da imagem SRTM foi delimitada a área da bacia por meio do *ArcHydro Tools*. Foram extraídas curvas de nível com equidistância de 30 m para geração do mapa de declividade conforme as classes propostas por Ross (1994). O Mapa de solos da área de estudo foi atualizado conforme Embrapa (2013).

Quanto a classificação, com o uso do classificador *Interactive Supervised Classification*, da imagem da bacia do ribeirão da Laje, do sensor OLI, foram usadas as bandas (B) B4 (vermelho), B5 (infravermelho próximo) e B6 (natural com remoção atmosférica), na composição colorida RGB (*red, green e blue*) R:B4, G:B5 e B:B6.

Em seguida, os diferentes usos da terra e cobertura vegetal da área de estudo foram reclassificados, convertidos para polígono e quantificados.

O arquivo shp do mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi convertido para kmz e importado para o *Google Earth Pro*, e, sobreposto a imagens atuais, reali-

zada a supervisão do produto final do mapeamento digital, sendo a classificação da imagem corrigida de forma manual, no ArcGIS, quando observados erros, no intuito de obter melhor qualidade na classificação.

Foram obtidas amostras de validação (kappa), de forma manual e aleatória, a partir da imagem do satélite Landsat/Sensor OLI, com auxílio de imagens (alta resolução) atualizadas do *Google Earth Pro* e levantamentos de campo.

Por meio do software QGIS 2.16 e seu complemento *Acuracy*, realizou-se o cruzamento entre o mapa de uso da terra e cobertura vegetal com as amostras kappa e foi obtida a matriz de confusão.

A partir da matriz de confusão foi calculado o Índice Kappa. Este trata-se de um teste estatístico proposto por Jacob Cohen em 1960, o qual é usado para avaliar a qualidade da classificação do uso da terra e cobertura vegetal. Leva em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal (ALVES, 2016) ou diagonal descendente.

Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986) recomendam o uso do Índice Kappa, por utilizar todas as células da matriz de erro, e não apenas os elementos da diagonal descendente, ou seja, mede a probabilidade de um pixel ser corretamente classificado em relação à probabilidade da classificação incorreta. O Índice Kappa pode ser estimado por meio da Equação 1 (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007):

$$K = (n * \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{j=1}^c x_{1j} * x_{j1}) / (n^2 - \sum_{j=1}^c x_{1j} * x_{j1}) \quad (1)$$

Na qual: K é uma estimativa do coeficiente Kappa; n é o número total de amostras; c é o número total de classes; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i, ou seja, o valor da diagonal da matriz de confusão, de forma descendente; x_{i+} é a soma da linha i, e x_{+i} a soma da coluna i da matriz de confusão.

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi avaliado com base em uma escala de valores que definem a qualidade da classificação a partir de resultados obtidos pelo Índice Kappa (Quadro 1), conforme Landis e Koch (1977).

Quadro 1 - Qualidade da classificação conforme intervalos do Índice Kappa

| Valor Kappa | Qualidade da classificação |
|-------------|----------------------------|
| <0,00 | Péssima |
| 0,00 – 0,20 | Ruim |
| 0,20 – 0,40 | Razoável |
| 0,40 – 0,60 | Boa |
| 0,60 – 0,80 | Muito Boa |
| 0,80 – 1,00 | Excelente |

Fonte: Landis e Koch (1977).

2.2.3 Terceira etapa

O estudo da fragilidade ambiental seguiu os níveis metodológicos propostos por Ross (1994), sendo os valores da fragilidade atribuídos em cada categoria do mapa de declividade e do mapa de solos, ver Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos níveis de intensidade da fragilidade

| Fragilidade | Valor numérico |
|-------------|----------------|
| Muito baixa | 1 |
| Baixa | 2 |
| Média | 3 |
| Forte | 4 |
| Muito forte | 5 |

Fonte: Ross (1994).

Quanto a erosividade da chuva, o fator R foi obtido através da Equação 2 (WISCHMEIER e SMITH, 1978), sendo adaptada para as condições ambientais brasileiras por Lombardi e Moldenhauer (1977) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (1990):

$$EI30 = 67,355(r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

Na qual: EI30 é a média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h); r , a média dos totais mensais de precipitação, em mm; e P , a média dos totais anuais de precipitação, em mm.

Com o propósito de classificar a bacia hidrográfica quanto à erosividade da chuva, conforme Carvalho (1994), o valor obtido em MJ.mm.há⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ foi con-

vertido em tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹. O valor inicial foi dividido por 9,81, passando do sistema métrico internacional para o sistema métrico decimal, conforme observado em Cabral et al. (2011). Em seguida, os índices de erosividade foram comparados com as classes propostas por Carvalho (1994), segundo Quadro 3. Os valores de erosividade, conforme Carvalho (1994), são classificados em cinco níveis hierárquicos, que variam de erosividade muito baixa (250 tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹) a muito alta (>1000 tn.mm.ha⁻¹.ano⁻¹).

Quadro 3 - Classes de erosividade da chuva (média anual)

| Classes de erosividade | Erosividade (tn.mm.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) |
|------------------------|--|
| 1.Muito baixa | $R < 250$ |
| 2.Baixa | $250 < R < 500$ |
| 3.Média | $500 < R < 750$ |
| 4.Alta | $750 < R < 1000$ |
| 5.Muito alta | $R > 1000$ |

Fonte: Carvalho (1994).

Obtido o valor da erosividade, este foi usado na geração do mapa de fragilidade potencial e, em seguida, o mapa de fragilidade emergente. A erosividade não tem sua espacialização (como mapa) apresentada por ter recebido valor interpretado a partir de dados de somente uma estação pluviométrica, mais próxima da área de estudo, localizada no município de Rio Verde (GO).

Atribuiu-se um valor numérico do grau de proteção para cada categoria do mapa de uso da terra e cobertura vegetal (ROSS, 1994; SANTOS e ROSS, 2012), variando de proteção muito alta (1) a muita baixa (5), (Quadro 4), sendo que a atribuição de pesos para essas categorias é inversa à atribuição para as classes de solos e declividade.

Quadro 4 - Classificação dos graus de proteção

| Grau de proteção | Valor numérico |
|--------------------|----------------|
| Muito alta | 1 |
| Alta | 2 |
| Média | 3 |
| Baixa | 4 |
| Muito baixa a nula | 5 |

Fonte: Ross (1994).

Os mapas foram cruzados por álgebra de mapa no ArcGIS 10.1^o, sendo usada a Equação 3, para obtenção do mapa de fragilidade potencial, e a Equação 4,

para obtenção do mapa de fragilidade emergente:

$$MFP = (MD + MS + SHPE)/3 \quad (3)$$

Na qual: MFP é o mapa da fragilidade potencial; MD é o mapa da declividade; MS é o mapa de solos; e SHPE é o arquivo shp com o nível da erosividade.

$$MFE = (MFP + MUTCV)/2 \quad (4)$$

Na qual: MFE é o mapa da fragilidade emergente; MFP é o mapa da fragilidade potencial; e MUTCV é o mapa do uso da terra e da cobertura vegetal.

Observa-se que para gerar o mapa de fragilidade potencial, foram somados os mapas de aspectos físicos naturais do ambiente (declividade, solos e erosividade) e dividido por 3; e para gerar o mapa de fragilidade emergente (mapa síntese da fragilidade ambiental), foram somados o mapa da fragilidade potencial com o mapa do uso da terra e cobertura vegetal e dividido por 2. Estes foram reclassificados levando em consideração as 5 classes propostas por Ross (2004) e convertidos para polígonos, tornando possível obter a área (km²) correspondente a cada classe de fragilidade.

Posteriormente foi realizada a supervisão de

cada categoria de fragilidade ambiental obtida, no intuito de constatar a ocorrência ou não ocorrência de áreas degradadas.

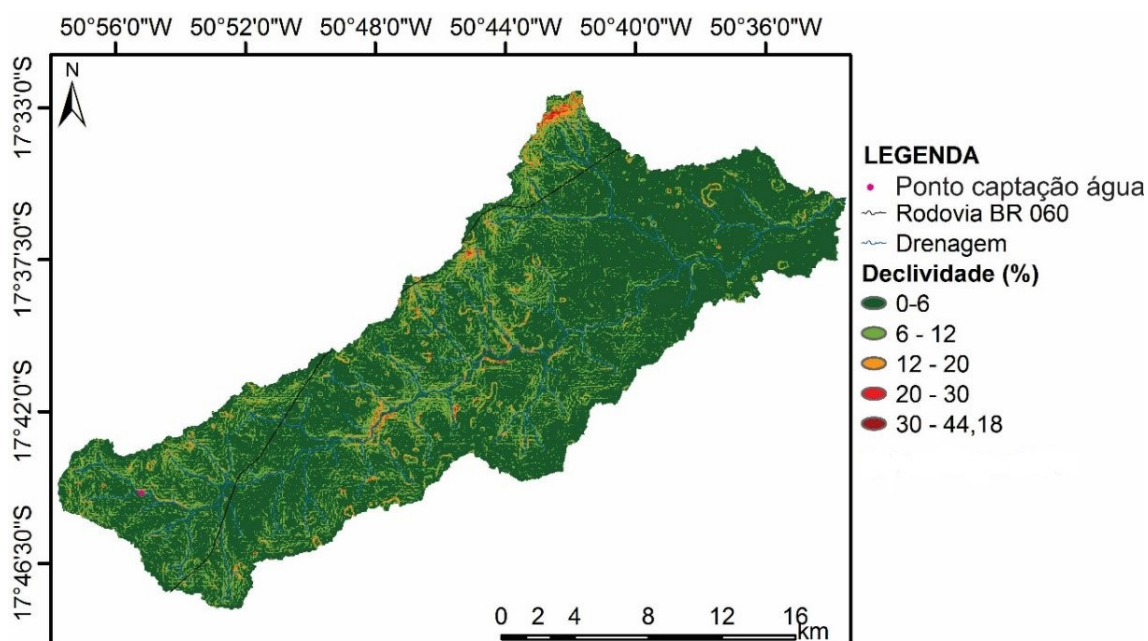
Nos locais onde foram constatadas áreas degradadas, realizou-se inspeção *in loco* e, com uso de uma câmera digital, modelo Nikon D5100, tiradas fotografias para ilustração dessas áreas nos mapas de fragilidade ambiental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Compreender os intervalos da declividade de um local é fundamental, devido aos mesmos fornecerem importantes informações sobre a capacidade de uso ou aptidão agrícola das terras, além de indicar os riscos de processos erosivos, deslizamento e inundações (KAWAKUBO et al., 2005).

Áreas com declividade ≤ 6% (muito baixa fragilidade) são predominantes na bacia hidrográfica, seguidas de áreas com declividade entre 6 - 12% (baixa fragilidade), 12 - 20% (média fragilidade), 20 - 30% (alta fragilidade) e > 30% (muito alta fragilidade) (Tabela 1) e (Figura 2). A média da declividade foi de 4,45 (muito baixa fragilidade), e desvio padrão, de 3,16.

Figura 2 - Declividade da bacia do ribeirão da Laje.



Fonte: elaborado pelos autores conforme a classificação proposta por Ross (1994), no Sistema de Coordenadas Geográfico Latitude/Longitude - Sirgas 2000.

Tabela 1 - Classes de declividade (S), com respectivo valor da fragilidade atribuído conforme proposta de Ross (1994), da bacia do ribeirão da Laje

| S (%) | km ² | % | Valor atribuído |
|---------|-----------------|-------|-----------------|
| ≤ 6 | 327,23 | 75,83 | 1 |
| 6 - 12 | 92,20 | 21,36 | 2 |
| 12 - 20 | 10,96 | 2,54 | 3 |
| 20 - 30 | 1,08 | 0,25 | 4 |
| > 30 | 0,08 | 0,02 | 5 |
| Total | 431,55 | 100 | - |

Fonte: elaborado pelos autores.

As categorias de declividade da bacia hidrográfica foram classificadas de acordo com a potencialidade à mecanização em: excelente ($\leq 6\%$), que têm condições favoráveis ao uso de máquinas agrícolas durante o ano todo, são áreas bem drenadas ou acentuadamente drenadas; boa (6 -12%), que permitem o uso de máquinas agrícolas durante o ano todo, podendo ser bem

drenadas ou fortemente drenadas; regular (12 - 20%), permitem o uso de máquinas agrícolas quase o ano todo e são moderadamente drenadas; restrita (20 - 30%), que apresentam restrições fortes ao uso de máquinas agrícolas; inapta ($> 40\%$), solos que na sua maior parte permitem apenas mecanização com o uso de animal (LIMA et al., 2002).

A predominância de declividades entre 0 a 20% enquadra a bacia hidrográfica como favorável à mecanização agrícola. No entanto, se nestas áreas, bem como nas áreas com declividade $> 20\%$, o uso da terra e o manejo não considerarem a sustentabilidade ambiental do agroecossistema, podem ocorrer prejuízos ambientais (como perda de solos e assoreamento de cursos hídricos devido a processos erosivos) e econômicos (como baixa produtividade dos solos e desvalorização da propriedade).

A área de estudo apresenta sete unidades de mapeamento de solo, sendo predominante a de Latossolos Vermelhos (97,53%), principalmente Latossolos Vermelhos Distróficos (95,50%), conforme Tabela 2 e Figura 3.

Os Latossolos Vermelhos argilosos apresentam

Tabela 2 – Unidades de mapeamento de solos, com respectivo valor da fragilidade atribuído conforme proposta de Ross (1994), da bacia do ribeirão da Laje

| Símbolo | Unidade de mapeamento | km ² | % | Valor atribuído |
|---------|---|-----------------|-------|-----------------|
| LVd2 | Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte A moderado ou proeminente, de textura muito argilosa ou argilosa, relevo plano e suave ondulado. | 378,19 | 87,63 | 1 |
| LVd3 | Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte A moderado ou proeminente, de textura argilosa, relevo plano e suave ondulado. | 29,86 | 6,92 | 1 |
| NVe2 | Nitossolo Vermelho Eutrófico, horizonte A moderado ou chernozêmico, de textura argilosa, relevo suave ondulado e ondulado. | 9,19 | 2,13 | 4 |
| LVa1 | Latossolo Vermelho Áplico, horizonte A moderado, de textura média, relevo plano e suave ondulado. | 8,75 | 2,03 | 2 |
| LVd8 | Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte A moderado ou proeminente, textura muito argilosa ou argilosa, relevo plano e suave ondulado. | 3,74 | 0,87 | 1 |
| RLd7 | Neossolo Litólico Distrófico, horizonte A moderado, textura média cascalhenta fase pedregosa, relevo ondulado e forte ondulado. | 1,47 | 0,34 | 5 |
| LVd1 | Latossolo Vermelho Distrófico, horizonte A moderado, de textura muito argilosa, relevo plano e suave ondulado. | 0,35 | 0,08 | 1 |
| Total | - | 431,55 | 100 | - |

Fonte: SIEG (2017). Organizado pelos autores conforme Embrapa (2013).

muito baixa fragilidade potencial (ROSS, 1994), por serem resistentes aos processos erosivos, por apresentarem boas condições físicas. Entretanto, conforme Embrapa (2018a), os Latossolos de textura média, com teores elevados de areia, assemelham-se às Areias Quartzosas, sendo muito suscetíveis à erosão, requerendo uso conservacionista. Nesse sentido, a classe de Latossolo Vermelho Áplico, de textura média, 2,03% da área de estudo, recebeu peso 2 (baixa fragilidade potencial).

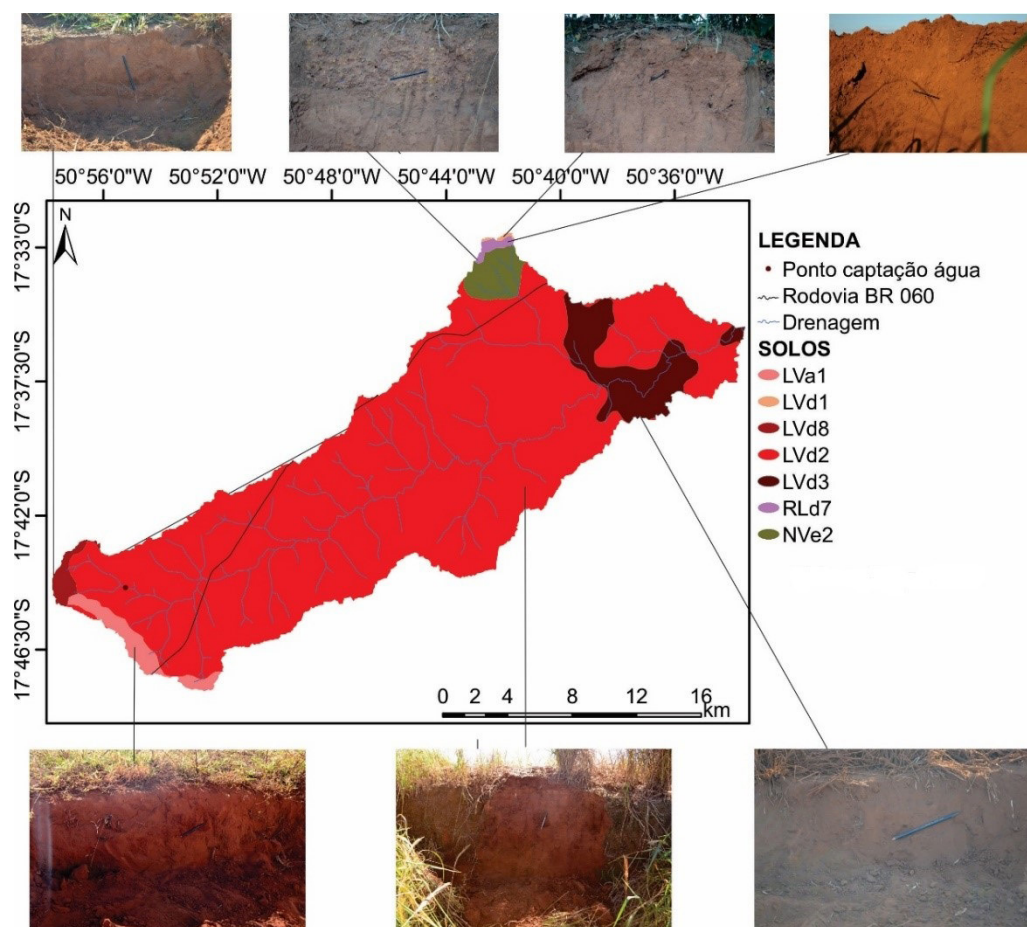
Cuja área total da bacia hidrográfica, 2,13% corresponde a classe de Nitossolo Vermelho Eutrófico (Tabela 2 e Figura 3). Os Nitossolos Vermelhos apresentam alto risco de erosão devido aos relevos acidentados a que estes solos estão associados (EMBRAPA, 2018b), como é observado na bacia do ribeirão da Laje, o que exige aplicação de práticas de conservação do solo para prevenir erosão, voçorocas, assoreamen-

to de cursos hídricos etc. Conforme a proposta de Ross (1994), os Nitossolos Vermelhos são classificados como de forte fragilidade potencial.

A classe de Neossolo, 0,34% da área total (Tabela 2) e (Figura 3), está presente em área com maior declividade na bacia hidrográfica. As limitações ao uso das terras nos Neossolos Litólicos são relacionadas a pouca profundidade, presença de rocha e aos declives acentuados associados às áreas de ocorrência destes solos. Estes fatores limitam o crescimento radicular, o uso de máquinas e elevam o risco de erosão. São solos normalmente indicados para preservação da flora e fauna (EMBRAPA, 2018c).

Nesse sentido, os Neossolos Litólicos, conforme Ross (1994), são classificados em forte e muito forte fragilidade potencial, sendo fundamental que esses solos não sejam utilizados para práticas agríco-

Figura 3 – Unidades de mapeamento de solos da bacia do ribeirão da Laje.



Fonte: Mapa: disponibilizados pelo SIEG (2017) e organizado pelos autores conforme Embrapa (2013), no Sistema de Coordenadas Geográfico Latitude/Longitude - Sirgas 2000; fotografias: dos autores (2017).

las, pois podem facilmente ser degradados, evidenciando a importância de serem destinados para conservação da flora e fauna.

Quanto a erosividade, a média dos totais mensais de precipitação foi de 129,127 mm, e a média dos totais anuais, de 1.619,32 mm. Esses volumes de precipitação proporcionaram erosividade de 49,83 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$ e 597,97 $\text{tn}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. A **área de estudo**, de acordo com a proposta de Carvalho (1994), foi classificada como de média erosividade.

A matriz de confusão obtida no processo de avaliação da qualidade da classificação da imagem usada no estudo do uso da terra e cobertura vegetal é apresentada na Tabela 3. O Índice Kappa foi de 0,9369 (93,68%), sendo o grau de aceitação considerado excelente, conforme Landis e Koch (1977).

Em relação ao uso da terra e cobertura vegetal, predominam na bacia hidrográfica áreas destinadas a agricultura (61,14%), seguida de áreas de pastagem (15,65%), Cerrado/mata (14,66%), Cerrado/campo limpo (2,94%), área urbana (2,67%), Cerrado *strictu* (1,06%), área industrial (0,85%), rodovia pavimentada (0,29%), construção rural (0,30%) e outras áreas com menor representatividade (Tabela 4 e Figura 4).

Foram observadas lavouras de soja, milho e cana de açúcar como mais expressivas. Também foram identificadas pequenas lavouras de sorgo, mandioca

e hortaliças. Conforme proposta de Ross (1994), as áreas com culturas agrícolas anuais de ciclo curto, como arroz, soja, milho, feijão, trigo e algodão, em curva de nível/terraceamento, apresentam baixa proteção dos solos.

As áreas de pastagem situam-se próximas aos cursos hídricos e em locais menos favoráveis às práticas agrícolas (Figura 4). Ross (1994) define essas áreas, cobertas por pastagens, como de média proteção dos solos (Tabela 4).

Da área total da bacia hidrográfica, somente 18,66% encontra-se coberta por vegetação do Cerrado. De acordo com Ross (1994) e Kawakubo et al. (2005), áreas com vegetação natural apresentam alto grau de proteção dos solos de processos erosivos, sendo que essa cobertura além de proteger o solo contra a perda de material, protege direta e indiretamente contra os efeitos modificadores das formas do relevo.

As áreas construídas, considerando a proposta de Santos e Ross (2012) e as características locais, receberam peso 2 para o grau de proteção (Tabela 4).

O uso predominantemente agrícola na área de estudo é devido às características ideais de relevo (predominância de baixas declividades), solos (predominância de Latossolos), precipitação pluviométrica e outros para o desenvolvimento da agricultura fundamentada em modernas técnicas de produção e

Tabela 3 – Matriz de confusão da classificação da imagem da bacia do ribeirão da Laje

| Classes | Amostra de validação (kappa) | | | | | | | | |
|------------------|------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 |
| Solo exposto | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pastagem | 1 | 115 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Área industrial | 0 | 0 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Área urbana | 0 | 0 | 0 | 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Construção rural | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Silvicultura | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| Cerrado/mata | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 94 | 0 | 0 |
| Represas | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 |
| Área agrícola | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 10 | 0 | 0 | 123 |

Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 4 - Categorias de uso da terra e cobertura vegetal, com respectivo valor atribuído ao grau de proteção conforme proposta de Ross (1994) e Santos e Ross (2012), na bacia do ribeirão da Laje

| Categorias | km ² | % | V a l o r atribuído |
|---------------------|-----------------|-------|---------------------|
| Agricultura | 263,85 | 61,14 | 4 |
| Pastagem | 67,53 | 15,65 | 3 |
| Cerrado/mata | 63,27 | 14,66 | 2 |
| Cerrado/campo limpo | 12,67 | 2,94 | 2 |
| Área urbana | 11,53 | 2,67 | 3 |
| Cerrado strictu | 4,59 | 1,06 | 2 |
| Área industrial | 3,66 | 0,85 | 2 |
| Rodovia pavimentada | 1,29 | 0,29 | 2 |
| Construção rural | 1,31 | 0,30 | 2 |
| Represa | 0,70 | 0,16 | 3 |
| Solo exposto | 0,40 | 0,09 | 5 |
| Silvicultura | 0,75 | 0,17 | 3 |
| Área total | 431,55 | 100 | - |

Fonte: elaborado pelos autores.

manejo.

Sobre a fragilidade potencial, com base na integração dos aspectos físicos da bacia hidrográfica (declividade, solos e erosividade), considerando apenas os as-

pectos naturais, sem considerar as atividades antrópicas, a bacia do ribeirão da Laje evidencia graus de fragilidade potencial muito baixa a forte, não apresentando a classe muito forte (Tabela 5)

Tabela 5 - Classes de fragilidade potencial da bacia do ribeirão da Laje

| Fragilidade | Km ² | % |
|-------------|-----------------|-------|
| Muito baixa | 334,27 | 77,46 |
| Baixa | 91,11 | 21,11 |
| Média | 6,02 | 1,39 |
| Forte | 0,15 | 0,03 |
| Muito forte | - | - |
| Total | 431,55 | 100 |

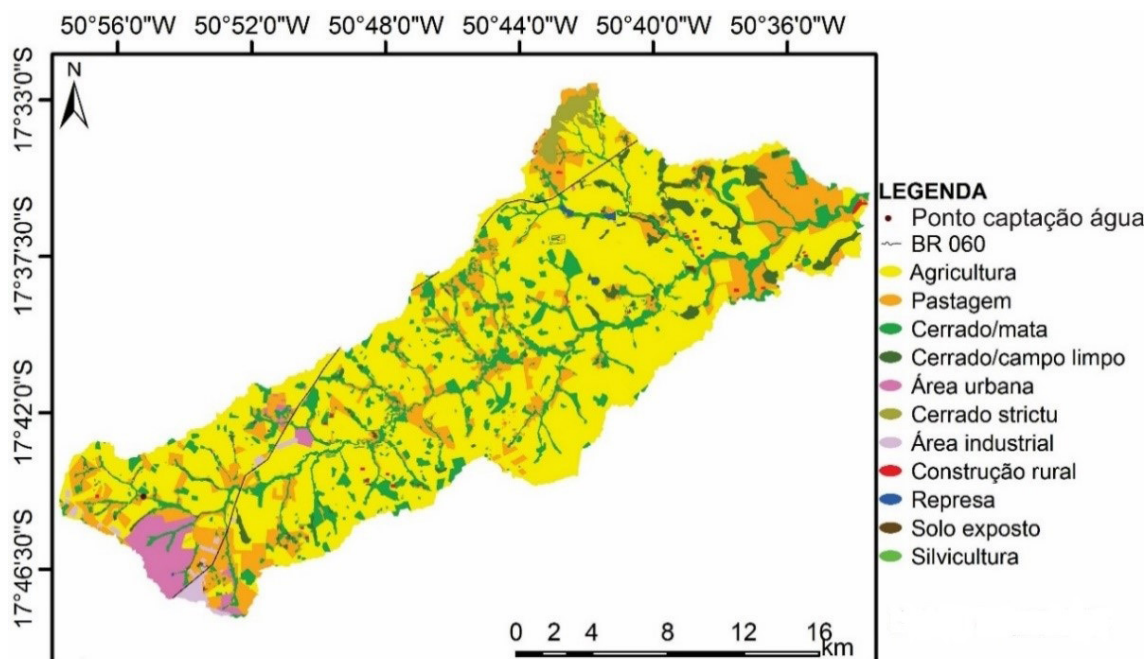
Fonte: elaborado pelos autores.

Constatou-se maior área com fragilidade potencial muito baixa (77,46%), seguida de fragilidade potencial baixa (21,11%), média (1,39%) e forte (0,03%), conforme Figura 5. A média da classificação foi de 1,27 (fragilidade potencial muito baixa) e desvio padrão de 0,48.

Considerando somente a área de contribuição do ponto de captação de água para abastecimento público da população urbana de Rio Verde (GO), esta é caracterizada como de fragilidade potencial muito baixa e baixa), aspectos que contribuem na garantia desse uso.

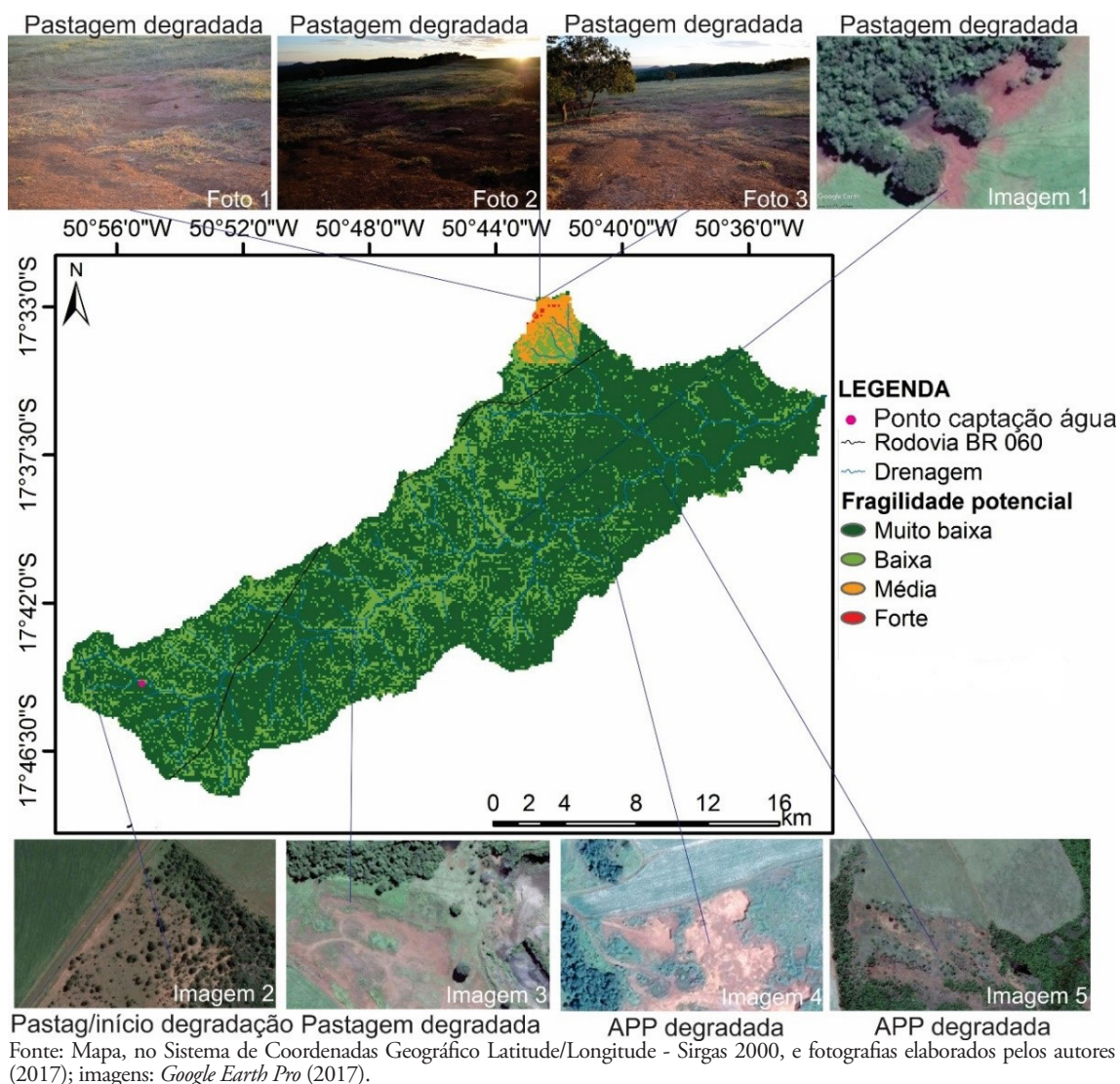
A predominância de área com fragilidade potencial muito baixa e baixa é em decorrência das maiores

Figura 4 - Uso da terra e cobertura vegetal na bacia do ribeirão da Laje



Fonte: elaborado pelos autores, no Sistema de Coordenadas Geográfico Latitude/Longitude - Sirgas 2000.

Figura 5 - Fragilidade potencial da bacia do ribeirão da Laje.



áreas com declividade até 12% e de Latossolos Vermelhos, aspectos apontados na proposta de Ross (1994) como de muito baixa a baixa fragilidade.

As áreas com média e forte fragilidade potencial são relacionadas às áreas com declividade mais elevadas, aos Nitossolo Vermelho e Neossolo Litólico e à média erosividade.

Considerando a fragilidade emergente, a área de estudo apresenta as classes de fragilidade de muito baixa a média, não apresentando as classes forte e muito forte, sendo a classe de fragilidade baixa predominante (76,21%), seguida da fragilidade emergente média (12,11%) e muito baixa (11,68%), conforme Tabela 6 e Figura 6. A média da classificação foi de 2 (fragilidade

emergente baixa), e desvio padrão, de 0,51.

Tabela 6 - Classes de fragilidade emergente da bacia do ribeirão da Laje

| Fragilidade | Km ² | % |
|-------------|-----------------|-------|
| Muito baixa | 50,40 | 11,68 |
| Baixa | 328,90 | 76,21 |
| Média | 52,25 | 12,11 |
| Forte | - | - |
| Muito forte | - | - |
| Total | 431,55 | 100 |

Fonte: elaborado pelos autores.

Enquanto a fragilidade potencial é favorável à preservação da área de contribuição do ponto de captação de água para abastecimento da população urbana de Rio Verde (GO), a fragilidade emergente não é, podendo ser observadas áreas com fragilidade emergente média a montante do referido ponto, principalmente devido à agricultura intensiva.

Compreender a fragilidade emergente é essencial, uma vez que as ações humanas, através das formas de uso da terra e cobertura vegetal, determinam as alterações em uma bacia hidrográfica.

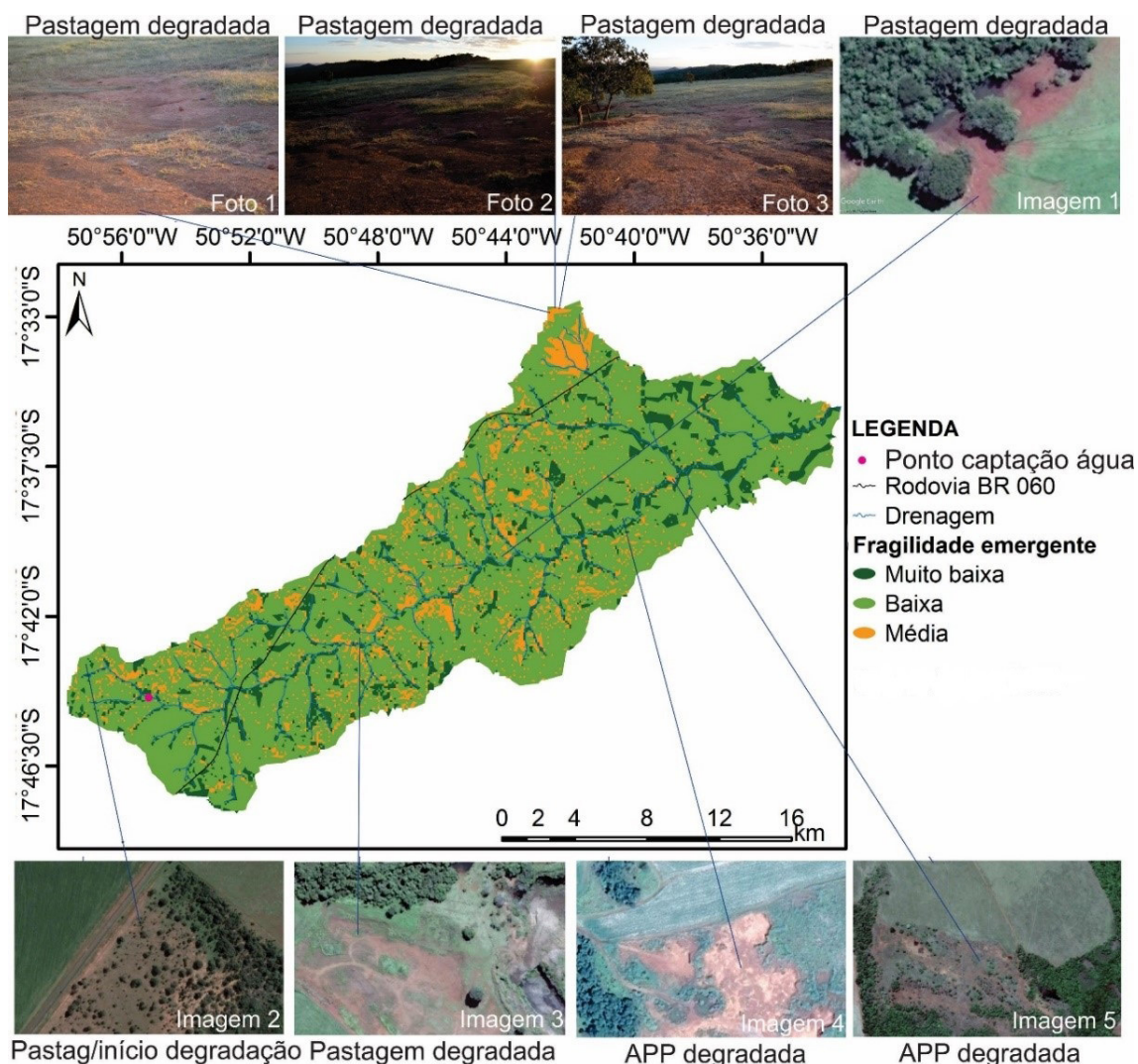
As áreas com fragilidade emergente muito baixa e baixa correspondem, principalmente, aos locais com menor declividade, presença de Latossolos e cobertura vegetal nativa de Cerrado.

Embora as categorias de fragilidade potencial

média e forte sejam menos representativas e a fragilidade emergente média esteja entre as categorias menos representativas, é preciso que nessas áreas o uso e manejo do solo sejam realizados considerando as técnicas conservacionistas e em conformidade com a legislação florestal vigente. Isso por ter sido verificado nessas áreas erosão hídrica, podendo ser observada erosão em sulco nas fotografias 1, 2 e 3, causando prejuízos ambientais (perda de solos) e econômicos (baixa produtividade e/ou improdutividade e desvalorização de propriedades).

As erosões observadas na área de estudo ocorrem, principalmente, em áreas de pastagens degradadas semelhante ao observado por Santos (2015), na Bacia do Alto rio Coxim, revelando que nas áreas agrícolas com práticas conservacionistas, a degradação por erosão é menor quando comparada à pecuária sem manejo adequado do

Figura 6 - Fragilidade emergente da bacia do ribeirão da Laje



Fonte: Mapa, no Sistema de Coordenadas Geográfico Latitude/Longitude - Sirgas 2000, e fotografias elaborados pelos autores (2017); imagens: *Google Earth Pro* (2017).

solo.

É importante ressaltar que se a produção de pastagem for com tratamentos conservacionistas e manejo adequados das terras, ou seja, com vista à sustentabilidade do agroecossistema, as perdas de solos são reduzidas.

A degradação dessas pastagens é devido ao solo apresentar fragilidade potencial média e/ou forte e fragilidade emergente média, além de fatores favoráveis ao processo de degradação, como, por exemplo, ausência de terraços em nível e bacias de captação.

Foram observadas, ainda, áreas que legalmente deveriam ser protegidas, áreas de preservação permanentes (APP), degradadas, usadas para a produção de bovinos e, além do uso inadequado, com práticas de manejo não apropriadas.

A perda de solo em áreas cobertas com pastagem é 10 vezes maior que em áreas com cobertura florestal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Essa perda pode ser ainda maior quando esse tipo de uso é realizado em ambiente com fragilidade potencial elevada e com manejo inadequado do solo, sem o uso de práticas conservacionistas.

A área de pastagem, em monocultivo, nos solos de baixa fertilidade, como é observado na bacia hidrográfica em questão (predominância de solos com saturação por base < 50%), e com manejo inadequado, apresenta grande risco para a pecuária nacional, principalmente com o acelerado processo de degradação dessas pastagens (ZIMMER et al., 2012).

A bacia do ribeirão da Laje está sendo intensamente impactada por ações antrópicas. Entre essas ações, destacam-se: a substituição da mata original, que é responsável por mudanças no habitat original, trazendo consequências irreversíveis, como a extinção de espécies da fauna e da flora, e graves desequilíbrios ambientais; processos erosivos facilitados naturalmente pela maior fragilidade potencial e acelerados pela ação do homem, como atividades de agricultura intensiva e pecuária predatórias, com práticas de cultivo e manejo inadequados dos solos, como observado por Cunha e Freitas (2004).

As atividades antrópicas causadoras de impactos ambientais importantes na área de estudo devem ser substituídas aos poucos ou reguladas por formas de agricultura ecológica adaptadas aos ecossistemas locais e/ou tipo de fragilidade ambiental. Outras atividades de manejo provenientes da floresta condizentes com o novo código florestal podem ser implementadas, o que produziria uma interligação fundamental entre seus habitantes e o meio. As áreas com processos erosivos mais acelerados devem ser estudadas com o propósito de encontrar alternativas locais para a recuperação ambiental desses

lugares, assim como propõem Cunha e Freitas (2004).

De forma geral, a delimitação da bacia do ribeirão da Laje como elemento básico para uma análise ambiental integrada, como destacam Cunha e Guerra (2000), com o uso da proposta de Ross (1994), tornou possível a obtenção de dados relevantes para subsidiar o planejamento e a gestão ambiental dessa unidade territorial com usos múltiplos importantes para a região.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do ribeirão da Laje (GO) apresenta predominância de área com relevo plano a suave-ondulado e solos com fragilidade muito baixa, favorecendo maior parte enquadrada nas classes de fragilidade potencial muito baixa e baixa, inferindo que a área de estudo é favorável à produção agrícola. Entretanto, a ocorrência de declividades com maior grau de influência nos processos erosivos, solos com fragilidade forte e muito forte, erosividade média, predominância de área com menor grau de proteção dos solos, constatação de áreas com fragilidade potencial variando de média a muito forte, fragilidade emergente média, além de oito pontos com áreas degradadas, indicam a necessidade de planejamento ambiental e agrônomico adequados na área de estudo, com aplicação de práticas de uso e manejo conservacionistas (vegetativas, edáficas e mecânicas) e cumprimento da legislação florestal vigente (municipal, estadual e federal), buscando minimizar os impactos ambientais negativos, recuperar áreas degradadas, e assim, reduzir os prejuízos ambientais e econômicos.

Mesmo com características favoráveis à produção agropecuária (predominância de baixas declividades e Latossolos Vermelhos, clima propício) o manejo inadequado dos solos, como uso intensivo de mecanização agrícola, monocultura, sobrepastoreio etc., torna as áreas de produção agropecuária suscetíveis à erosão e outros impactos ambientais negativos, o que reforça a necessidade de usos, dentro da bacia do ribeirão da Laje, condizentes com a sustentabilidade ambiental.

O uso de técnicas de integração das características físicas naturais e de uso da terra e cobertura vegetal, em ambiente SIG, demonstrou ser eficaz nesse estudo, contribuindo para uma melhor compreensão das áreas de maior e menor fragilidade ambiental da bacia hidrográfica em questão, sendo fundamental o constante monitoramento dessa unidade territorial, principalmente das áreas com graus maiores de fragilidade ambiental, para auxiliar no desenvolvimento de medidas condizentes com o desenvolvimento sustentável.

As análises da fragilidade ambiental indicam, de

maneira geral, as seguintes recomendações para recuperar as áreas degradadas e diminuir a perda de solos:

a) Nas áreas de preservação permanente degradadas, observar a legislação florestal vigente, levando em conta a largura do curso hídrico, tamanho da propriedade, se estão inseridas em área consolidada ou não. No caso de recuperação para recompor a vegetação natural, usar as seguintes estratégias: regeneração natural sem manejo, regeneração natural com manejo, plantio em área total e sistemas agroflorestais (SAFs), conforme Martins (2010) e Embrapa (2018d). Se a recuperação nestas áreas for para recompor a pastagem, quando permitido pela legislação florestal atual, verificar o item b seguinte.

b) Nos solos degradados com presença de pastagens degradadas, usar as seguintes estratégias: recuperação direta, recuperação indireta com destruição total da vegetação e uso de pastagem anual ou agricultura, renovação direta, renovação indireta com uso de pastagem anual ou agricultura, sistemas de integração lavoura-pecuária (SILPs), conforme Zimmer et al. (2012).

c) Construção de barreiras físicas nas áreas degradadas e com maiores graus de fragilidade ambiental, como terraço de canais escoadouros em nível e bacias de captação de água.

Este estudo irá fornecer informações para a população em geral, dados para outros estudos local e servir de base para outros trabalhos em outras regiões.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, geração de 22 de julho de 2006.
- ALVES, W. S.; SCOPEL, I.; MARTINS, A. P. Análise da fragilidade ambiental da bacia do ribeirão das Abóboras, em Rio Verde, Sudoeste de Goiás. **GeoFocus**, v. 18, n. 19, p. 81-108, 2017. Disponível em: <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/556/401>. Acesso em: 14 out. 2018.
- ALVES, W. S. **Aspectos físicos e qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão das Abóboras, no município de Rio Verde, Sudoeste de Goiás**. 2016. 171p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade Federal de Goiás/Regional de Jataí, Jataí.
- AQUINO, R. P.; VALLADARES, G. S.; AQUINO, C. M. S.; GUIMARÃES, C. C. B.; COELHO, R. M. Análise da vulnerabilidade natural e do risco de degradação no alto curso do Rio Banabuiu – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 601-613, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233689/27266>. Acesso em: 14 out. 2018.
- BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA - BDMEP. **Dados de precipitação de janeiro de 1996 a dezembro de 2017**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 08 fev. 2018.
- BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, J. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 1990.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico**. Tradução de Olga Cruz. São Paulo: Caderno de Ciências da Terra, IGEOG-USP, 1972.
- CABRAL, J. B. P., ROCHA, I. R., MARTINS, A. P., ASSUNÇÃO, H. F., BEGAT, V. A. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO): Utilizando técnicas de geoprocessamento. **Geofocus**, v. 10, n. 11, p. 51-69, 2011. Disponível em: <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/212>. Acesso em: 14 out. 2018.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- CREPANI, E., MEDEIROS, J. S., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V. E BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.
- CUNHA, S. B.; FREITAS, M. W. S. Geossistemas e gestão ambiental na bacia hidrográfica do rio São João-RJ. **GEOgraphia**, v. 6, n. 12, p. 87 - 110, 2004. Disponível em: <http://www.geographia.uff.br/index.php/geographia/article/view/155/150>. Acesso em: 14 out. 2018.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: GUERRA, J. T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Latossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html. Acesso em: 01 fev. 2018a.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Nitossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_17_2212200611543.htm. Acesso em: 06 fev. 2018b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Neossolos Litólicos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html. Acesso em: 10 fev. 2018c.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Código Florestal**: estratégia de recuperação. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/estrategias-e-tecnicas-de-recuperacao>. Acesso em: 10 fev. 2018d.
- ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.1. 2011. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Inpe, 2007 p. 5755-5762.
- FUNDAÇÃO RURAL MINAS - RURALMINAS. Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.
- GOIÁS (Estado). Superintendência de Geologia e Mineração (SGM). Revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, geração de 22 de julho de 2006.
- GOIÁS (Estado). Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SIC). Revisão de topologia, alimentação, atualizações e edição da Drenagens da Base Cartográfica Vetorial Digital, geração de 22 de julho de 2006.
- GOIÁS (Estado). Superintendência de Geologia e Mineração (SGM). Modelagem, alimentação e edição do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.
- GOIÁS (Estado) Secretaria Estadual de Indústria e Comércio (SIC). Modelagem, alimentação e edição do Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.
- GOOGLE. Google Earth. Versão 2017. 2017. Imagem de áreas localizadas na bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde (GO). Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/desktop/>. Acesso em: 28 de nov. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010 e 2018** (estimativa). 2018. Disponível em: www.cidades.ibge.gov. Acesso em: 09 fev. 2018.
- INSTITUTO MAURO BORGES – IMB. **Goiás**: visão geral. Disponível em: <http://www.imb.gov.br/visaogeral/index.html>. Acesso em: 24 de jul. 2017.
- KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Inpe, 2005, p. 2203-2210.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.1, p.159-174, 1977. Disponível em: https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/landis_jr_koch_gg_1977_kappa_and_observer_agreement.pdf. Acesso em: 20 de jun. 2017.
- LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. **Classificação e aptidão agrícola dos solos do campo experimental de Pacajus, Ceará, para a Agricultura**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/424702/1/Dc053.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas**: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2010.
- MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2001.
- PEEL, M.C., FINLAYSON, B.L., MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007. Disponível em: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf>. Acesso em: 14 out. 2018.
- PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na bacia hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Geonorte**, v.2, n.4, p.1519-1528, 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2321>. Acesso em 14 out. 2018.
- QGIS. Versão 2.16. 2016. Disponível em: <http://download.osgeo.org/qgis/windows/>. Acesso em: 28 de nov. 2018.
- QUEIROZ JUNIOR, V. S.; CABRAL, B. P.; ROCHA, I. R.; BARCELOS, A. A. N. Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO). **GeoFocus**, Madrid, v. 15, n. 15, p. 193-212, 2015. Disponível em: <http://www.geofocus.org/index>.

php/geofocus/article/view/413. Acesso em 14 out. 2018.

ROSA, R. 2005. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do departamento de geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso em: 14 out. 2018.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p.223-227, 1986. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1986journal/feb/1986_feb_223-227.pdf. Acesso em: 14 out. 2018.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>. Acesso em: 14 out. 2018.

SANTOS, J. O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 8, n. 10, p. 127-144, 2012. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6511/3503>. Acesso em: 14 out. 2018.

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/mercator/v14n2/1984-2201-mercator-14-02-0075.pdf>. Acesso em: 14 out. 2018.

SISTEMA ESTADUAL DE GEOINFORMAÇÃO DE GOIÁS – SIEG. **Downloads/SIG – Shapefiles**. Disponível em: www.Sieg.go.gov.br. Acesso em: 30 ago. 2017.

SOCHAVA, V. B. **Por uma Teoria de Classificação de Geossistemas de Vida Terrestre**. Tradução de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. São Paulo: Série Biogeografia, IGEOG-U, 1978.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREM, 1977.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). Mapa de Solos do Plano Diretor da Bacia do Rio Paranaíba, na escala 1:250.000, geração 01 de março de 2005.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **EarthExplorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 Jun. 2017.

WISCHMEIER, W. H. E.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande (MS): Embrapa Gado de Corte, 2012.

Correspondência dos autores:

*Wellmo dos Santos Alves **

e-mail: wellmoagro@hotmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2339201205105450>

*Alécio Perini Martins***

e-mail: alecioperini@yahoo.com.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4037183605742666>

*Iraci Scopel***

e-mail: iraciscopel@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4241342785862156>

Artigo recebido em: 22/02/2018

Revisado pelos autores em: 27/11/2018

Aceito para publicação em: 04/12/2018