



TATIANE BATISTA DAMASCENO

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO  
DE RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIBEIRÃO DO LAGE/MG**

Itabira-MG  
2020

TATIANE BATISTA DAMASCENO

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À GESTÃO  
DE RECURSOS HÍDRICOS: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIBEIRÃO DO LAGE/MG**

Trabalho apresentado à Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira-MG, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre; Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos-ProfÁgua.

**Área de concentração:**  
Instrumentos Da Política De Recursos Hídricos

**Linha de pesquisa do projeto:**  
Metodologia para Implementação dos  
Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos

**Orientadora:**  
Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Eliane Maria Vieira

Itabira – MG  
Agosto de 2020

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Assim, agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, PROJETO CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico durante o mestrado e a Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira/MG.

Agradeço a Deus por ter me capacitado e trilhado de forma perfeita a oportunidade de me formar em um mestrado voltado para Recursos Hídricos.

À minha família que me apoiou sempre na busca do conhecimento. Principalmente a minha mãe Maria de Lourdes, por me ensinar a ter foco, força e nunca desistir dos meus sonhos. E ao meu pai José por me ensinar a ter coragem e paciência.

À minha orientadora Eliane Maria Vieira que sempre esteve a disposição me acompanhando durante o desenvolvimento deste estudo, ensinando como ser um profissional competente e ser uma pessoa iluminada.

Aos mestres que se dedicaram e passaram o melhor de si e de seu conhecimento para que pudéssemos repassar o melhor de nós como profissional.

Aos amigos Bruno e Saulo pela companhia, compartilhamento e momentos de alegria que tivemos nas nossas idas e vindas a Itabira-MG. E também agradeço a cada um dos colegas de sala por todo o apoio, amizade que amenizaram o cansaço nos fins de semana.

Assim agradeço a todas as novas experiências e vivências que tive, a oportunidade de voltar a Brasília-DF e poder conhecer as diversidades de Manaus-AM.

E agradeço a todos os meus familiares e amigos que neste período de estudo contribuíram direta e indiretamente no meu preparo mental, físico e espiritual para vencer esta missão. Gratidão a todos!

*“É preciso coragem para ser imperfeito. Aceitar e abraçar as nossas fraquezas e amá-las. E deixar de lado a imagem da pessoa que devia ser, para aceitar a pessoa que realmente sou.”*

*Brené Brown*

## RESUMO

DAMASCENO, Tatiane Batista. **Análise da vulnerabilidade ambiental como subsídio à gestão de recursos hídricos: estudo de caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Lage-MG.** 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2020.

A gestão dos recursos hídricos em uma bacia requer o conhecimento dos conflitos sobre estes. Neste sentido, a análise da vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas é uma importante ferramenta no planejamento ambiental estratégico. Este estudo tem como principal objetivo realizar a análise de vulnerabilidade ambiental emergente associada à disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG (BHRL), da UPGRH do Rio Caratinga-MG de forma a auxiliar a tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos nesta bacia a partir da análise multicritério mediante o uso do sistema de informação geográfica (SIG). Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia, foi empregada a hierarquia nominal de fragilidade, representada por classes, de acordo com seu grau de vulnerabilidade para os componentes: Uso e Ocupação do Solo, Declividade, Erosividade da Chuva, Classes de Solos e Classes de Dissecação do Relevo, atribuindo valores, de forma que, quanto maior o valor da classe, maior o grau de vulnerabilidade. Na segunda fase do estudo, realizou-se a análise do gerenciamento dos recursos hídricos na bacia por meio de aferição de dados de outorgas e usos insignificantes concedidos pelo órgão ambiental competente. Foram calculados os valores de  $Q_{7,10}$  da foz de cada segmento da hidrografia da bacia com outorgas concedidas, obtidos a partir do procedimento de regionalização de vazões utilizando o método de deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais e a partir das vazões encontradas calculou-se os índices de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) da BHRL. Os resultados indicam que as condições de uso e ocupação do solo da BHRL apresenta uma forte presença da cafeicultura e pecuária e junto aos processos de morfogênese e pedogênese, com a alta declividade e dissecação do relevo são os principais fatores de fragilidade ambiental desta bacia, propiciando maiores escoamentos superficiais, processos erosivos e arraste de sedimentos até o leito do Ribeirão do Lage, podendo acarretar assoreamentos e também modificações na qualidade e quantidade de água disponível. Porém, a categoria das classes de solos torna-se um potencial ambiental favorável devido a predominância de Latossolos, sendo solos mais resistentes a estas erosões. Espacialmente, nota-se que os segmentos de rio com vazão outorgada superior à vazão mínima de referência e os demais segmentos se encontram em áreas com índice de vulnerabilidade ambiental emergente forte (4). O que indica a necessidade de elaboração, de ações junto ao Plano de Bacia, melhorando estrategicamente o gerenciamento de recursos hídricos local, o que possibilitará o desenvolvimento da agricultura com práticas agrícolas mais conservacionistas e com ações de recuperação de áreas degradadas. Contribuindo assim, para uma maior articulação entre os comitês de bacias e o poder público, bem como a população diretamente envolvida para que haja negociação e construção de um ambiente de gestão, de intermediação entre agentes públicos, privados e sociedade civil criando um gerenciamento dos recursos hídricos coerente com a gestão territorial local.

**Palavras – Chaves:** Fragilidade Ambiental. Gerenciamento de Recursos Hídricos. Políticas Públicas.

## ABSTRACT

DAMASCENO, Tatiane Batista. **Analysis of emerging environmental in river basins is an important tool in strategic environmental planning: a case study of the Ribeirão do Lage-MG hydrographic basin.** 2020. 99 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA), Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Campus de Itabira, Minas Gerais, 2020.

The management of water resources in a basin requires knowledge of the conflicts over these. In this sense, the analysis of environmental vulnerability in river basins is an important tool in strategic environmental planning. This study has as main objective to carry out the analysis of emerging environmental vulnerability associated with the water availability of the Ribeirão do Lage-MG Hydrographic Basin (BHRL), of the UPGRH of the Rio Caratinga-MG in order to assist decision making in the management of water resources in this basin from the multicriteria analysis using the geographic information system - GIS. For the elaboration of the environmental vulnerability map of the basin, the methodology which uses a nominal hierarchy of fragility, represented by classes, according to its degree of vulnerability for the components: Land Use and Occupation, Declivity, Rain Erosivity, Soil Classes and Classes of Relief Dissection, assigning values, so that the higher the class value, the greater the degree of vulnerability. In the second phase of the study, the management of water resources in the basin was analyzed by assessing data on grants and insignificant uses granted by the competent environmental agency. The values of Q7.10 of the mouth of each segment of the hydrography of the basin with granted grants were calculated, obtained from the flow regionalization procedure using the method of Superficial Defluvios in the State of Minas Gerais and from the flows found it was calculated the conflict indexes for the use of water in the management of water resources (Icg) of BHRL. The results indicate that BHRL's soil use and occupation conditions, present a strong presence of coffee and livestock and along with the processes of morphogenesis and pedogenesis, with the high declivity and dissection of the relief are the main factors of environmental fragility of this basin, providing greater surface runoff, erosive processes and sediment dragging to the Ribeirão do Lage bed, which can lead to silting and also changes in the quality and quantity of available water. However, the category of soil classes becomes a favorable environmental potential due to the predominance of Oxisols, soils are more resistant to these erosions. Spatially, it is noted that the river segments with granted flow higher than the minimum reference flow and the other segments are found in areas with a strong emerging environmental vulnerability index (4). This indicates the need for elaboration of actions with the Basin Plan, strategically improving the management of local water resources, which will enable the development of agriculture with more conservationist agricultural practices and actions to recover degraded areas. Thus contributing to a greater articulation between the basin committees and the public power, as well as the population directly involved so that there is negotiation and construction of a management environment, of intermediation between public, private and civil society, creating resource management resources consistent with local territorial management.

**Keywords:** Environmental Fragility. Water Resources Management. Public policy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total de água consumida no Brasil (média anual).....	19
Figura 2 - Relação entre demandas e disponibilidade hídrica .....	20
Figura 3 - Localização da área de estudo .....	31
Figura 4 - Reclassificação da dissecação do relevo proposta por Ross (1994) .....	37
Figura 5 - Rendimento específico médio mensal .....	41
Figura 6 - Uso e Ocupação do solo bacia hidrográfica Ribeirão do Lage -MG .....	42
Figura 7 - Mapa de vulnerabilidade do uso e ocupação da BHRL-MG .....	46
Figura 8 - Mapa da declividade da bacia hidrográfica Ribeirão do Lage -MG.....	49
Figura 9 - Mapa de vulnerabilidade da declividade da BHRL-MG .....	51
Figura 10 - Padrões de relevo da BHRL-MG.....	53
Figura 11 - Altimetria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG .....	58
Figura 12 - Grau de entalhamento do vale da BHRL-MG .....	59
Figura 13 - Dimensão interfluvial média da BHRL-MG .....	60
Figura 14 - Índice de dissecação do relevo da BHRL-MG .....	62
Figura 15 - Tipos de solos da BHRL-MG .....	63
Figura 16 - Índice de Vulnerabilidade Ambiental dos Solos da BHRL-MG .....	68
Figura 17 - Resultados da interpolação dos dados pluviométricos para o preenchimento de falhas nas estações pluviométricas utilizadas .....	69
Figura 18 - Resultados da análise de consistência dos dados pluviométricos.....	70
Figura 19 - Mapa de erosividade da chuva na BHRL-MG.....	71
Figura 20 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da erosividade da chuva na BHRL-MG ..	72
Figura 21 - Mapeamento da demanda hídrica da BHRL-MG .....	73
Figura 22 - Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão de Recursos Hídricos da BHRL-MG .....	78
Figura 23 - Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Potencial da BHRL-MG.....	81
Figura 24 - Mapa de vulnerabilidade emergente da BHRL-MG .....	83
Figura 25 - Mapa da vulnerabilidade ambiental emergente associada a disponibilidade hídrica da BHRL-MG .....	85

## **LISTA DE FOTOS**

Foto 1 - Uso e Ocupação do Solo por Cafeicultura nos Topos de Morros da BHRL-MG...	43
Foto 2 - Ocupação do Solo por Pastagens na BHRL-MG.....	45
Foto 3 - Ocupação do Solo por Silvicultura na BHRL-MG .....	45
Foto 4 - Relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage -MG .....	54
Foto 5 - Padrões do Relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG.....	55
Foto 6 - Captação de Água para Abastecimento Públco na BHRL-MG.....	74

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Valores do Icg .....	23
Quadro 2 – Valores do $I_{cg}$ para Vazão Outorgada Superior .....	24
Quadro 3 - Classes de Relevo empregadas na elaboração do mapa de declividade.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição das Classes de Fragilidade Potencial e Emergente .....	32
Tabela 2 - Matriz do índice de dissecação do relevo.....	37
Tabela 3 - Graus de Fragilidade .....	42
Tabela 4 - Quantidade de área dos Usos e Ocupações do Solo na BHRL - MG.....	43
Tabela 5 - Índice de vulnerabilidade das classes de usos do solo e ocupação na BHRL .....	46
Tabela 6 - Índice de vulnerabilidade ambiental das classes de declividade da BHRL-MG.	50
Tabela 7 - Unidades geomorfológicas da BHRL-MG.....	53
Tabela 8 - Principais Geoambientes da BHRL-MG .....	55
Tabela 9 - Soma algébrica dos índices de dimensão interfluvial média somados aos índices de entalhamento médio dos vales da BHRL-MG .....	61
Tabela 10 - Vulnerabilidade ambiental para classes dos solos Ross (1994) .....	64
Tabela 11 - Índices de vulnerabilidade das classes de solos da BHRL-MG .....	67
Tabela 12 - Distribuição da área dos índices de vulnerabilidade ambiental do solo.....	68
Tabela 13 - Índices de Vulnerabilidade Ambiental da Erosividade da Chuva.....	72
Tabela 14 - Vazões concedidas pelos órgãos Ambientais na BHRL-MG.....	76
Tabela 15 - Rendimento específico, tipologia e fator de proporção para a BHRL-MG.....	77
Tabela 16 - Classificação dos Segmentos da BHRL conforme o Icg.....	78
Tabela 17 - Área referente ao Índice de Vulnerabilidade Ambiental Potencial da BHRL ..	81
Tabela 18 - Área referente ao Índice de Vulnerabilidade Ambiental Emergente da BHRL	83

# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 OBJETIVOS	15
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Segurança Hídrica	16
2.2 Disponibilidade e demanda hídrica nas bacias hidrográficas	18
2.2.1 Estimativa das vazões disponíveis	21
2.2.2 Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos	22
2.3 Análise Ambiental como Ferramenta de Gestão de Recursos Hídricos	24
2.4 Vulnerabilidade ambiental nas análises ambientais de bacias hidrográficas	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.2 Mapeamento da vulnerabilidade ambiental da BHRL	31
3.2.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo da BHRL	32
3.2.2 Mapeamento da declividade da BHRL	33
3.2.3 Mapeamento das classes de solos da BHRL	34
3.2.4 Mapeamento das classes geomorfológicas da BHRL	35
4.2.4.1 Mapeamento dos Padrões de Relevo da BHRL	35
3.2.4.2 Mapeamento do índice de dissecação do relevo da BHRL	35
3.2.4 Mapeamento da erosividade da chuva	37
3.3 Mapeamento das demandas hídricas da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG	38
3.4 Cálculo do índices de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos da BHRL	39
3.4.1 Cálculo da vazão $Q_{7,10}$ empregando a metodologia proposta por Souza (1993)	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo da BHRL	42
4.2 Mapa de declividade da BHRL	49
4.3 Padrões de Relevo da BHRL	52
4.4.2 Índice de dissecação do relevo	57
4.4 Mapa Pedológico	63
4.5 Mapa de erosividade da chuva	69
4.6 Mapa de demanda hídrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG	72
4.6.1 Cálculo da razão de uso da BHRL	75
4.6.2 Resultados da Vazões $Q_{7,10}$	77
4.6.3 Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos	78

4.7 Mapa de vulnerabilidade ambiental potencial e ambiental emergente da BHRL	80
<b>5 PRODUTO FINAL</b>	<b>85</b>
CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS	89

## INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica se constitui como a mais adequada unidade de planejamento para o uso e exploração dos recursos naturais, pois seus limites são imutáveis dentro do horizonte do planejamento humano, o que facilita o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem na área (VAEZA et al., 2010). De acordo com Tucci (1997) uma bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

Conforme a Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento das águas. É um de seus instrumentos (Art. 5º, III) a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, constituída como elemento central de controle dos recursos hídricos e indutor do ordenamento dos usos múltiplos (BRASIL, 1997).

O estabelecimento dos critérios de outorga de direito de uso das águas, segundo Silva e Monteiro (2004), além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos. A outorga do uso da água é, portanto, um instrumento essencial ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois ela pode possuir aspectos técnicos, legais e econômicos que, se bem articulados, colaboram para o sucesso da implementação de um sistema racionalizado de uso dos mananciais.

Vaeza et al. (2010), relatam que a disponibilidade hídrica está diretamente associada aos usos e ocupação da bacia, visto que estes interferem na geração de água na bacia bem como no consumo desta. Assim, o disciplinamento do uso e da ocupação das terras da bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram. Além disso o autor ainda afirma que as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento tornaram-se ferramentas úteis e indispensáveis no monitoramento da dinâmica de uso e ocupação das terras, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e viabilidade econômica.

Conforme Guerra (1980), antes de se pensar em planejar a utilização dos recursos naturais, faz-se necessário o conhecimento prévio dos mesmos, ou seja, suas características qualitativas e quantitativas. Uma das tecnologias que possibilitam a caracterização física de uma região é denominada geotecnologia. Esta tecnologia permite o emprego de diversas ferramentas disponíveis para o conhecimento, gestão e monitoramento das bacias hidrográficas de uma região e o aproveitamento dos recursos naturais ali existentes.

Portanto Mitchell et al. (2004) afirmam que é necessário ter um entendimento dos modelos de uso da terra existentes em toda a extensão da bacia ou microbacia hidrográfica para que se elaborem políticas de desenvolvimento e respostas para a degradação dos recursos hídricos para cada imóvel, por meio, por exemplo, da regulação ou planejamento do uso da terra ou da disponibilidade hídrica.

Nascimento et al. (2016) relatam que a intenção de identificar e analisar as vulnerabilidades em uma bacia hidrográfica pressupõe estudar as ocupações que são exercidas em cada trecho dessa bacia, assim como analisar as interações das características físicas do ambiente, a sensibilidade dos recursos hídricos frente às perturbações ocasionada pelas ações antrópicas.

De acordo com estudos feitos por Siqueira (2016), as informações geradas por meio da vulnerabilidade ambiental em uma bacia hidrográfica tornam-se um apoio aos tomadores de decisão na gestão dos recursos hídricos, no processo de avaliação da necessidade de adoção de opções de gestão, ao observar e medir as relações entre as características de um meio, eventos induzidos e efeitos adversos.

Segundo Valle Junior (2008) o planejamento ambiental de bacias hidrográficas auxilia também nos estudos das análises da fragilidade ambiental, em cenários ambientais e do zoneamento ambiental, mostram a diversidade da disponibilidade hídrica na bacia, em harmonia com a legislação ambiental, executando estratégias e programas que associam aos aspectos ambientais, político, econômico e sociocultural.

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Lage, que é o foco deste estudo, está inserida dentro dos municípios de Santa Bárbara do Leste, Santa Rita de Minas e Caratinga, na área de proteção especial do Ribeirão da Lage, no estado de Minas Gerais. De acordo com estudos de Rodrigues (2004), a bacia tem a sua ocupação tipicamente rural, sendo a cultura dominante a cafeicultura, seguida por culturas de subsistência tais como feijão, milho, hortaliças e pequenas áreas reflorestadas com eucalipto. A pecuária extensiva é uma atividade secundária em áreas de plantio, assim como a suinocultura e a avicultura.

Assim, ao avaliar a capacidade de suporte dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Lage e conhecer a demanda de disponibilidade de recursos hídricos deste manancial juntamente suas vulnerabilidades ambientais será possível um melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

## 1 OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo Geral

Realizar a análise de vulnerabilidade ambiental emergente associada à disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG, da UPGRH do Rio Caratinga-MG, de forma a auxiliar a tomada de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos nesta bacia.

### 1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar as áreas críticas em relação à vulnerabilidade ambiental, dando subsídios à adoção de práticas de conservação e uso racional de água na agricultura e para os demais usos múltiplos dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG;
- ✓ Gerar índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG;
- ✓ Relacionar as áreas que apresentam potencial de vulnerabilidade ambiental com o índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Segurança Hídrica

O conceito de segurança hídrica é descrito pela ONU (Organização das Nações Unidas) como:

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo sustentar o planejamento da oferta e do uso da água em um país (ANA, 2019 p.13).

Conforme Veriato et al. (2015) este aumento da demanda hídrica global é fortemente influenciado pelo crescimento da população, pela urbanização, pelas políticas de segurança alimentar e energética, e pelos processos macroeconômicos, tais como a globalização do comércio, as mudanças na dieta e o aumento do consumo de recursos naturais.

Na mesma linha, Wang et al. (2016) afirmam que os condutores que agravam a vulnerabilidade para a segurança hídrica são o crescimento da população e da renda, levando ao aumento da urbanização.

De acordo com o Plano de Segurança Hídrica elaborado pela Agência Nacional das Águas (ANA), esses fatores de desequilíbrio do balanço hídrico, associados à ausência de planejamento e ações institucionais coordenadas e de investimentos em infraestrutura hídrica e saneamento, desencadeiam cenários de Insegurança Hídrica e, no limite, a instalação de crises, tais como as que afetaram o Brasil nos últimos sete anos (ANA, 2019).

Nesse sentido, os desafios da segurança hídrica têm diferentes contornos em função das características regionais, sejam elas físicas, ambientais, socioculturais ou político-institucionais sendo assim importante a análise da oferta hídrica em nível estratégico e localmente (ANA, 2017).

Em muitas regiões metropolitanas brasileiras é preciso planejar respostas às secas em centros urbanos e isso requer o desenvolvimento de uma abordagem holística e proativa que propicie a visão e a análise dos diversos riscos, sendo capaz de propor ações sistemáticas e antecipadas. Assim, novas políticas, regulamentos, modelos, técnicas e investimentos serão sempre necessários para gerir impactos decorrentes do crescimento populacional, da infraestrutura que se deteriora, do crescimento urbano, das mudanças climáticas e de muitas outras pressões atuais e futuras sobre o sistema hídrico (PHILIP; SALIAN, 2011).

Dessa maneira, ANA (2017) descreve que o investimento em infraestrutura com foco na segurança hídrica deve ser priorizado, de forma a garantir maior capacidade de

preservação e acesso à água potável. Devido ao aumento da pressão sobre os mananciais, as limitações da disponibilidade hídrica e os problemas de gestão das águas são os principais fatores que motivam a busca de novas fontes hídricas, sendo mananciais cada vez mais distantes ampliando a complexidade da infraestrutura hídrica para o atendimento das demandas. Segundo ANA (2019), é importante incorporar medidas para gestão de riscos, em resposta às crises, o que envolve um conhecimento aprofundado da vulnerabilidade e da exposição do ambiente diante de algum evento, visando à proposição de ações dirigidas ao aumento da resiliência da área envolvida.

Conforme Melo (2016), destaca-se que os objetivos da segurança hídrica extrapolam as competências de ações do sistema de gestão de recursos hídricos, pois se relacionam com segurança de abastecimento público, segurança alimentar, segurança energética - especialmente no Brasil, que possui matriz hidroelétrica - segurança ambiental e segurança pública, no caso de desastres por eventos naturais. Entretanto, alcançar a segurança nessas áreas vai muito além de se atingir a segurança hídrica, por serem estas explicitamente dependentes de outras variáveis.

Em seu artigo 21, a Constituição Federal de 1988 prevê expressamente a instituição de um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos (BRASIL, 1988). A Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), cujo espelho em Minas Gerais é a Lei nº 13.199 de 1999 (MINAS GERAIS, 1999), e tem como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações acesso ao recurso hídrico em quantidade e qualidade compatíveis aos diversos usos a que se destina.

Melo (2016), relata em sua tese que os instrumentos de planejamento da lei de recursos hídricos são os planos diretores de bacias hidrográficas que deve contemplar diretrizes e critérios para o gerenciamento, assim como fundamentar e orientar a implementação de programas e projetos na bacia para o atendimento de metas previstas. E, o enquadramento dos corpos d'água configura um importante instrumento de planejamento no quesito qualidade e de articulação entre as políticas de águas e meio ambiente.

Assim, o plano de bacia integrado ao enquadramento dos corpos de água constitui o instrumento de planejamento da política das águas; no disciplinamento normativo, seu conteúdo deve levar em consideração a interface com as demais políticas públicas que podem interferir nos resultados propostos (MELO, 2016).

Entretanto, a prática tem demonstrado a falta de capacidade dos planos de recursos hídricos em criar mecanismos práticos de articulação, no âmbito técnico e institucional, para

viabilizar ações que propiciem a quantidade e a qualidade de água para atendimento de usos múltiplos, cuja consequência é a não implementação dos mesmos (MELO, 2016).

## 2.2 Disponibilidade e demanda hídrica nas bacias hidrográficas

De acordo com Cunha et al. (2009) em relação a água doce do planeta, 77,39% é composta de gelo; 22,03% de águas subterrâneas; 0,37% lagos, rios e similares; 0,18% de humidade no solo e 0,03% de vapor atmosférico. Ainda há a variação regional desta, sendo a disponibilidade de água doce por continente correspondendo à 26% na América do Sul; 36% na Ásia; 15% na América do Norte; 8% na Europa; 11% na África; 5% na Oceania e 2% na América Central.

Segundo Veriato et al. (2015), há pouca quantidade de água disponível, agravado pela sua má distribuição no globo terrestre. Diante deste cenário, a ONU fornece alertas através de relatórios a respeito de uma crise ambiental global, na qual está inserida a crise hídrica.

Conforme Melo (2016), a segurança hídrica se associa à relação entre demanda e disponibilidade de água, levando à reflexão sobre o conceito de disponibilidade, que culturalmente refere-se à quantidade de água disponível em um local. Entretanto, com o aumento da poluição ambiental dos cursos d'água, a qualidade da água também pode torná-la indisponível. Assim, o aumento da demanda pela água tem diminuído sua disponibilidade per capita e a sua qualidade, o que vem acarretando conflitos pelo uso da água, uma vez que a água de qualidade inferior não pode ser utilizada livremente para o consumo, produção ou lazer (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010).

Esse aumento na demanda segundo o relatório de conjuntura da ANA (2017), envolve principalmente a prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as culturas, e varia de acordo com a necessidade de cada cultura, tipo de solo, relevo, clima e outras variáveis. A figura 1 ilustra a média anual de consumo de água no Brasil por diferentes usos, merecendo destaque para o uso da água para irrigação que consome 67,2% do total de água consumida no Brasil.

**Figura 1** - Total de água consumida no Brasil (média anual)



Fonte: ANA, 2017

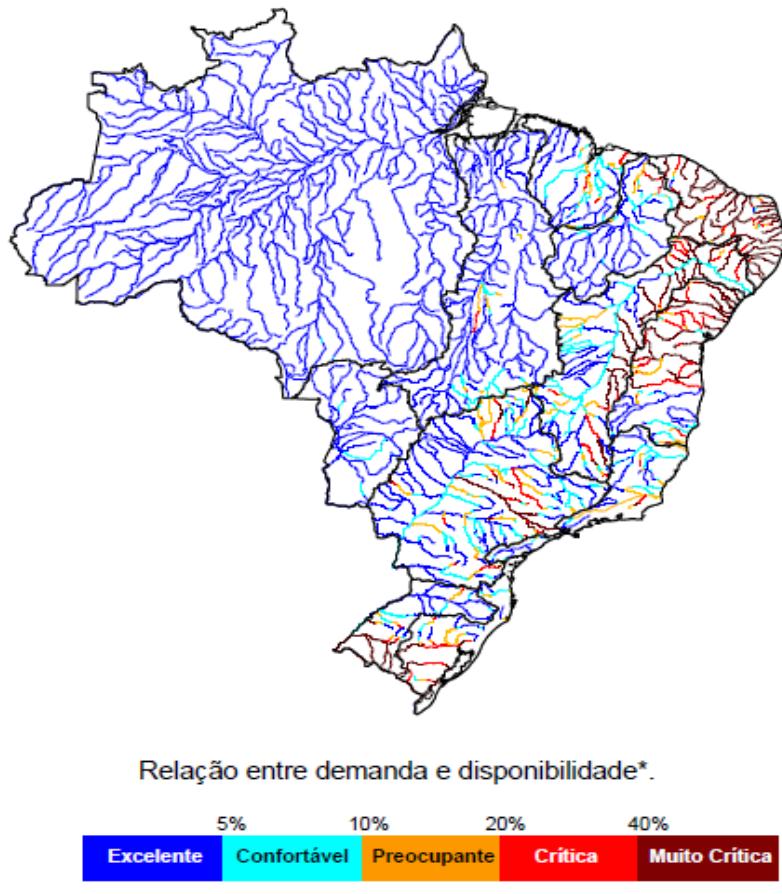
A irrigação permite uma suplementação do regime de chuvas, viabilizando o cultivo em regiões com escassez mais acentuada de água, como no Semiárido, ou em locais com períodos específicos de seca, como a região central do Brasil (ANA, 2017).

De acordo com dados da ANA (2017), a demanda total de água retirada para irrigação no Brasil é 969 m<sup>3</sup>/s. Esse uso é ainda mais relevante quando se considera o consumo, pois o retorno direto ao corpo d'água é muito pequeno quando comparado aos demais usos.

Novaes (2005) aponta que a disponibilidade hídrica natural em uma bacia hidrográfica é representada pelas vazões médias e mínimas, sendo o conhecimento destas de grande importância para um adequado planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, minimizando os conflitos pelo uso da água entre os diversos usuários e assegurando a segurança hídrica nestes locais.

Na Figura 2 é ilustrada a relação entre as demandas e a disponibilidade de recursos hídricos e aponta a situação atual da utilização dos recursos hídricos no país. Demonstrando conforme relatório de conjuntura da ANA (2017), que a situação é confortável na região hidrográfica Amazônica e na região do Tocantins/Araguaia. Já na região Atlântico Nordeste Oriental, bem como em quase todas as regiões próximas à costa encontram-se em situação crítica. Da mesma forma que foi apresentado para as grandes regiões hidrográficas brasileiras, esses estudos podem ser realizados em nível de bacias, sub bacias e até mesmo microbacias, subsidiando os Planos de Bacias.

**Figura 2** - Relação entre demandas e disponibilidade hídrica



Desta forma, a elaboração e a eficiência dos Planos de Bacia se vinculam à quantificação das variáveis hidrológicas (disponibilidades e demandas hídricas) e com sua distribuição espaço temporal em cada bacia hidrográfica (HELFER, 2006).

Melo (2016) afirma que tais planos devem abordar em suas diretrizes gerais de ação para implementação do gerenciamento de recursos hídricos a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas e culturais das diversas regiões do país; a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, a articulação com a gestão de uso do solo; e a articulação do planejamento de recursos hídricos com o de setores usuários e com o planejamento regional, estadual e nacional.

Tais informações permitem identificar áreas nos Plano de Bacia em que o recurso hídrico se encontra ou pode vir a se tornar escasso e propor estratégias sobre quanto, onde, quando e como utilizá-lo, de modo a minimizar os potenciais conflitos (HELFER, 2006).

### 2.2.1 Estimativa das vazões disponíveis

Helper (2006) evidencia a necessidade de estimativas confiáveis e seguras das disponibilidades e demandas hídricas nas bacias hidrográficas para o processo de planejamento e gestão de recursos hídricos. O prognóstico do uso dos recursos hídricos em relação às vazões disponíveis nos cursos d'água é importante e deve incluir, além das previsões naturais de mudança nos padrões de uso dos recursos hídricos, as intervenções previstas nos diferentes setores de usuários por intermédio de outros sistemas de planejamento. Assim, Novaes (2005), afirma que a regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, sendo considerada uma ferramenta de suma importância no gerenciamento dos recursos hídricos.

Embora os modelos de regionalização de vazões se apresentem como uma melhor estimativa das vazões em seções que não possuem medições fluviométricas, estes não são recomendados a seções que possuem medições, pois os mesmos não substituem as informações reais (SILVA JÚNIOR et al., 2002 *apud* NOVAES, 2005).

A maioria dos estudos de regionalização hidrológica disponíveis no Brasil, de acordo com Novaes (2005), foram realizados utilizando informações provindas de seções fluviométricas com grandes áreas de drenagem, apresentando, consequentemente, restrições de uso em seções com pequenas áreas de drenagem e que, em geral, apresentam comportamento hidrológico diferenciado das seções fluviométricas com maiores áreas de drenagem. Logo torna-se importante ter metodologias que auxiliem as estimativas de vazões nos pequenos rios e em seus tributários.

Existem diversos métodos que podem ser empregados para a regionalização das vazões como: método da conservação de massas que é aplicável à regionalização das vazões mínimas e médias e à curva de permanência, utilizando procedimentos desenvolvidos por Pereira (2004) e aperfeiçoados por Novaes (2005), o método tradicional que é aplicável às vazões mínimas, máximas e médias, bem como às curvas de regularização e de permanência (TUCCI, 2002), e o método da curva adimensional também de Tucci (2002), que somente pode ser aplicado às vazões mínimas e máximas.

Dentre outros métodos mais utilizados de regionalização de vazões mínimas está o uso de equações de regressão regionais ajustadas com base em características fisiográficas e climáticas das bacias, aplicadas dentro de regiões hidrologicamente homogêneas previamente definidas em Eletrobrás (1985a; 1985b).

Um método de regionalização de vazões alternativo, foi elaborado por Chaves et al. (2002) o qual utiliza técnicas de inter e extrapolação automáticas em ambiente SIG. Já Novaes et al. (2009), propuseram em seu estudo ajustar modelos de regressão para representação das vazões mínimas em função da área de drenagem no rio de maior ordem, e a partir deste, obter as vazões na foz de cada rio afluente.

Contudo, no estado de Minas Gerais, o IGAM estabeleceu para a estimativa da  $Q_{7,10}$  (Vazão específica mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos) e  $Q_{mlp}$  (Vazão específica média de longo período), a metodologia constante no trabalho Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA, 1993), o qual foi desenvolvido pela Hidrosistemas – Engenharia de Recursos Hídricos Ltda., com o apoio da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) para o estudo de regionalização de bacias hidrográficas do estado.

Por meio também da Portaria IGAM nº 48, de 04 de Outubro de 2019, instituiu-se como critério para concessão da outorga a vazão  $Q_{7,10}$ , estabelecendo como limite máximo de captações em recursos hídricos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, para cada seção considerada em condições naturais, 50% da  $Q_{7,10}$ , ficando garantidos, a jusante de cada intervenção, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% da  $Q_{7,10}$  (MINAS GERAIS, 2019).

### 2.2.2 Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos

Para que o órgão ambiental possa conceder as outorgas de uso da água é necessária uma análise das demandas hídricas já existentes no manancial de captação em relação à disponibilidade hídrica. Assim é possível garantir o acesso aos recursos hídricos levando em conta da segurança hídrica dos mananciais.

A fim de subsidiar as ações afetas à gestão dos recursos hídricos, em seu estudo, Moreira (2010) buscou compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso ambiental, disciplinando as respectivas intervenções antrópicas de modo se atingir o desenvolvimento sustentável, propondo o índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ), dado pela equação 1.

$$Equação 1: I_{cg} = Q_{out} / x Q_{mr}$$

Em que:

$I_{cg}$  = índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos (adimensional);

$Q_{out}$  = vazão outorgada à montante da foz do segmento em estudo ( $m^3 s^{-1}$ );  
 $x$  = percentagem, expressa em decimal, da  $Q_{mr}$  passível de ser outorgada (adimensional)

$Q_{mr}$  = vazão mínima de referência estimada na foz do segmento em estudo ( $m^3 s^{-1}$ ).

O valor obtido pela multiplicação de  $x$  por  $Q_{mr}$  corresponde à porcentagem da vazão mínima de referência passível de ser concedida de acordo com o critério de outorga adotado pelo órgão gestor de recursos hídricos da bacia, ou seja, a vazão máxima passível de ser outorgada na foz do segmento em estudo.

A  $Q_{out}$  pode assumir valores entre zero e um valor positivo correspondente à soma das vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo. Considerando a variação dos valores de  $Q_{out}$  em relação a  $xQ_{mr}$ , tem-se a seguinte escala de variação dos valores de  $I_{cg}$  conforme proposto por Moreira (2010):

$0 \leq I_{cg} \leq 1$  = situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo se encontram dentro dos limites legais; e

$I_{cg} > 1$  = situação na qual as vazões outorgadas a montante da foz do segmento em estudo superam os limites previstos pela legislação.

Em Moreira (2010), visando uma representação gráfica dos valores de  $I_{cg}$  por meio da elaboração de mapas, foi proposta uma escala colorimétrica dentro dos limites legais ( $0 \leq I_{cg} \leq 1$ ), demonstrando uma estratificação para caracterização das faixas de vazão ainda permissíveis de ser outorgadas (Quadro 1).

**Quadro 1 - Valores do Icg**

Cor	Faixas de vazão	Caracterização
	$(I_{cg} = 0)$	Vazão ainda permissível de ser outorgada igual à vazão máxima passível de ser outorgada na foz do segmento em estudo.
	$(0 < I_{cg} \leq 0,7)$	Vazão ainda permissível de ser outorgada superior a 30% da vazão máxima passível de outorga.
	$(0,7 < I_{cg} \leq 0,9)$	Vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 30% e superior a 10% da vazão máxima passível de outorga.
	$(0,9 < I_{cg} \leq 1)$	Vazão ainda permissível de ser outorgada inferior a 10% da vazão máxima passível de outorga.

Fonte: Moreira (2010)

Para os valores de  $I_{cg} > 1$  Moreira (2010) utilizou uma estratificação do intervalo em duas classes, este valor caracteriza que as vazões outorgadas superam os limites legais. Neste caso, considerando a situação em que o valor de  $Q_{out}$  é superior a  $xQ_{mr}$ , a variação dos valores de  $I_{cg}$  está entre os respectivos intervalos apresentados no quadro 2

**Quadro 2 – Valores do  $I_{cg}$  para Vazão Outorgada Superior**

Cor	Vazão	Caracterização
■	$x^*I_{cg} > 1$	Vazão outorgada superior à vazão mínima de referência.
■	$x^*I_{cg} \leq 1$	Vazão outorgada superior a $xQ_{mr}$ e inferior ou igual à vazão mínima de referência.

Fonte: Moreira (2010)

## 2.3 Análise Ambiental como Ferramenta de Gestão de Recursos Hídricos

Um dos fundamentos presentes na Lei 9.433 de 1997 é a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implantação (BRASIL, 1997). Assim, mesmo tendo como foco central o recurso natural água, percebe-se que a legislação já considera a necessidade de gestão de outros componentes naturais da bacia e a integração entre gestão dos recursos hídricos e gestão ambiental (CARVALHO, 2014).

O instrumento de planejamento diretamente relacionado ao planejamento de bacias hidrográficas é o Plano de Recursos Hídricos que, segundo expõe Carvalho (2014) deve, entre várias outras atribuições, estabelecer diretrizes para o uso e ocupação do território das bacias hidrográficas.

O Art. 5º da Lei 9.433 de 1997, apresenta o Plano de Recursos Hídricos como um instrumento para a gestão das bacias hidrográficas (BRASIL, 1997). Lopes (2018) esclarece que são considerados planos de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos, e devem apresentar um diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas a proteção dos recursos hídricos, dentre outras informações.

Ainda de acordo com o autor, do ponto de vista técnico ou de gestão, é verídico que as bacias hidrográficas possuem importância direta para a análise ambiental e representam a melhor forma de análise dos impactos antropogênicos sobre o território e múltiplas

possibilidades para a investigação científica, ressaltando a intrínseca relação entre homem e água e a necessidade da organização destes territórios.

O planejamento dos recursos hídricos deve fazer parte de um amplo processo de planejamento ambiental. Segundo Pereira (2016) somente com a organização espacial das forças que interagem na bacia hidrográfica haverá expectativas de garantia da unidade da região. O autor ainda salienta que, da mesma forma, deverá ocorrer um processo de informatização, de modo que toda forma de gestão e planejamento do território, deveriam dispor de recursos de processamento automático de informação, tipo Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Nesta perspectiva, os SIGs, como evidência Ruhoff (2004) têm modernizado o planejamento e a gestão ambiental, permitindo a correlação de dados físicos, naturais e socioeconômicos essenciais para estudos de planejamento ambiental, determinação da vulnerabilidade e fragilidade aos processos erosivos, a partir das unidades da paisagem mapeadas através de imagens de satélite.

Vários autores utilizaram em seus estudos a análise ambiental por meio de geotecnologias para auxiliar no gerenciamento dos recursos hídricos. Os autores Olszevski et al. (2011) determinaram as características morfométricas do relevo e da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Preto em ambiente SIG, com a finalidade de prever o comportamento hidrológico da área e concluíram que o local apresentava forma alongada e estreita, aliada a uma alta densidade de drenagem, evidenciando menor possibilidade de ocorrência de cheias.

Santos e Sobreira (2008) analisaram por meio de geotecnologias as características morfométricas da rede de drenagem e do relevo das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca, afluentes do rio Itabirito, tributário do rio das Velhas, visando a auxiliar na compreensão da vulnerabilidade natural dos terrenos às intervenções antrópicas, na compreensão dos processos erosivos e a na definição do zoneamento territorial. E Concluíram que parâmetros morfométricos contribuem para a compreensão da vulnerabilidade de terrenos à erosão, permitindo um melhor ordenamento territorial de bacias hidrográficas.

Já nos estudos realizados por Soares e Souza (2012) foram analisados os parâmetros morfométricos do relevo e da rede de drenagem da bacia do Rio Pequeno, situada no município de São José dos Pinhais–PR, visando dar subsídios às diretrizes básicas de ação ambiental sustentáveis. O cálculo dos índices e parâmetros morfométricos foi realizado

baseando-se em imagens de satélite, cartas topográficas em programas especializados. Os resultados obtidos permitiram verificar que a bacia apresentou: (a) controle pela geologia, determinada principalmente pelo rio principal; (b) alta densidade de rios e de drenagem concentrados na porção superior da bacia (alto e médio cursos) com solos de baixa permeabilidade (cambissolo e neossolo).

Os autores Abud et al. (2015) também realizaram a caracterização morfométrica das sub-bacias hidrográficas que ocorrem no município de Xapuri e a construção de um modelo explicativo do nível de impacto e resiliência das bacias hidrográficas do município para subsidiar a tomada de decisão sobre a ocupação do território através de ambiente SIG. Concluindo que o zoneamento pedo-hidrográfico permitiu a visualização do município num contexto de gestão territorial por meio de um enfoque ecossistêmico e de uma visão qualitativa dos potenciais e fragilidades.

Aher et al. (2014) usou as geotecnologias na caracterização morfométrica para identificar sub-bacias hidrográficas críticas e prioritárias na região da Índia com escassez de água, através da técnica de Análise de Soma Ponderada (WSA) desenvolvida para classificar cada unidade hidrológica em relação às ponderações obtidas a partir de parâmetros morfométricos. Os resultados demonstraram que 51,66% das sub-bacias hidrográficas estavam em zonas de moderada a alta suscetibilidade, o que mostra áreas potenciais para o planejamento de obras de conservação preferencial.

Malik e Bhat (2014), utilizaram a análise integrada de sensoriamento remoto no estudo da bacia hidrográfica do Himalaia da Caxemira, por meio de avaliação multicritério de mudanças geofísicas, de uso e cobertura da terra (LULC) e de indicadores socioeconômicos, priorizando bacias hidrográficas para a conservação e gestão de recursos naturais. Os resultados revelaram que os indicadores socioeconômicos são os motores mais importantes da mudança de LULC e degradação ambiental na bacia, e qualquer estratégia de conservação e gestão deve ser formulada com base na priorização de bacias hidrográficas.

Outras formas de se aplicar a análise ambiental na gestão de recursos hídricos segundo Soares et al. (2016) é quando se pesquisa a compreensão dos gradientes de declividade em determinada bacia hidrográfica, pois subsidia o entendimento da interação entre os eventos de precipitação e o deflúvio (previsão de enchentes), a delimitação das áreas de preservação permanente, do potencial erosivo e de aptidão do solo.

Para Andrade et al. (2008), no processo de planejamento ambiental de bacias hidrográficas, as características hipsométricas e de declividade são fundamentais quando

integradas com informações dos mapeamentos de uso e ocupação da terra, pois este tipo de análise possibilita o delineamento de áreas de risco de inundaçao e o planejamento de ações corretivas e preventivas.

#### **2.4 Vulnerabilidade ambiental nas análises ambientais de bacias hidrográficas**

O termo vulnerabilidade muitas vezes pode ser confundido, e assim o é, com os termos sensibilidade, fragilidade, risco e susceptibilidade. O conceito de vulnerabilidade ambiental adotado por Tagliani (2003), significa a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer. Segundo Grigio (2003), o sentido dado ao termo susceptibilidade refere-se à tendência de receber impressões, modificações ou adquirir qualidades diferentes das que já tinha.

Nesse sentido, Spörl e Ross (2004), revelam que os estudos relativos à fragilidade dos ambientes são de significativa importância para o planejamento ambiental, pois se trata de um instrumento cuja finalidade é identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de susceptibilidade, proporcionando assim, uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

Ross (1994), propôs um método de análise empírica na determinação da fragilidade de ambientes naturais e antropizados, tendo como fundamento o conceito das Unidades Ecodinâmicas já estudadas por Tricart (1977). Esse método de planejamento territorial sintetiza diferentes padrões de fragilidade em Unidades Ecodinâmicas Estáveis (Instabilidade Potencial) e Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente), no qual o Mapa de Fragilidade Potencial representa fatores intrínsecos à paisagem e o Mapa de Fragilidade Emergente considera também a cobertura da terra e intervenções humanas.

Outro método baseado no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), foi apresentado por Crepani et al. (2001), para representar a vulnerabilidade natural à perda de solo através da reinterpretação de mapas temáticos e de imagens de satélite. Nesse método, a vulnerabilidade das unidades de paisagem é estabelecida com base na relação morfogênese/pedogênese, por meio de uma escala de valores relativos e empíricos para cada plano de informação (PI) considerado.

Assim Crepani et al. (2001), configuraram um método adaptado de resposta de bacias hidrográficas à erosão, sendo gerados produtos que, integrados, representaram um instrumento relativamente acessível para planejamento territorial em escala local,

ambientalmente conservacionista e economicamente viável. Assim, o estudo oferecerá subsídios para gestão e monitoramento de bacias hidrográficas, com especial atenção para as formas de ocupação da terra em áreas de risco, isto é, de alta fragilidade e mais propensas à erosão (VALLE et al., 2016).

Segundo ANA (2017), a vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica pode decorrer da inerente criticidade quanto à disponibilidade hídrica, seja devido a características naturais ou devido às altas demandas e/ou poluição hídrica. O desmatamento e a erosão dos solos, a redução da precipitação, o aumento da demanda por água, entre outros fatores, são pressões que favorecem a escassez. As crises hídricas afetam todos os usos da água, com maior ou menor intensidade, inclusive usos não consuntivos como navegação, pesca, turismo e lazer.

O uso de SIG's, conforme Nicolau (2018), permitiu um aperfeiçoamento dos estudos de vulnerabilidade ambiental na medida em que adotaram uma maior integração dos meios físicos de solos, declividade, clima e geologia, que influenciam na elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solos, contribuindo assim com a melhor gestão do território, quando se analisa as relações advindas das alterações antrópicas sobre este meio, seja em uma bacia hidrográfica, município, região ou qualquer área do território passível de ser analisada.

Araújo e Prates (2018), declaram que a utilização dessas geotecnologias permitem não só a elaboração de diagnósticos, mas também o estudo de cenários futuros relacionados às problemáticas ambientais, podendo inclusive ajudar a preveni-las. Do mesmo modo, pode direcionar as melhores áreas para o uso, reduzindo assim a utilização de ambientes possivelmente frágeis e sensíveis a determinado tipo de intervenção.

Ainda, a gestão de recursos hídricos pode ser analisada ambientalmente por meio da realização de estudos que visam o mapeamento de vulnerabilidades ambientais em bacias hidrográficas. Dentre esses estudos, pode-se citar o trabalho de Crispim et al. (2011), com estudos no Vale do Rio Pacoti-CE onde foram definidas dez unidades de intervenção, sendo que a maioria delas pertence aos ambientes frágeis com ecodinâmica de ambientes instáveis. E concluíram que nesses ambientes o processo de degradação ambiental tornou-se mais intenso devido às suas peculiaridades ambientais e ausência de políticas que visem o ordenamento territorial.

Miguel et al. (2013) aplicaram técnicas de geoprocessamento na realização de diagnóstico de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Taquaruçu- MS e concluíram que em algumas áreas, os processos erosivos se encontram em estágio avançado, devido ao

escoamento superficial causado pela precipitação como também ao uso e ocupação da área, pois seu uso inadequado em certos locais elevaram o grau de vulnerabilidade ambiental.

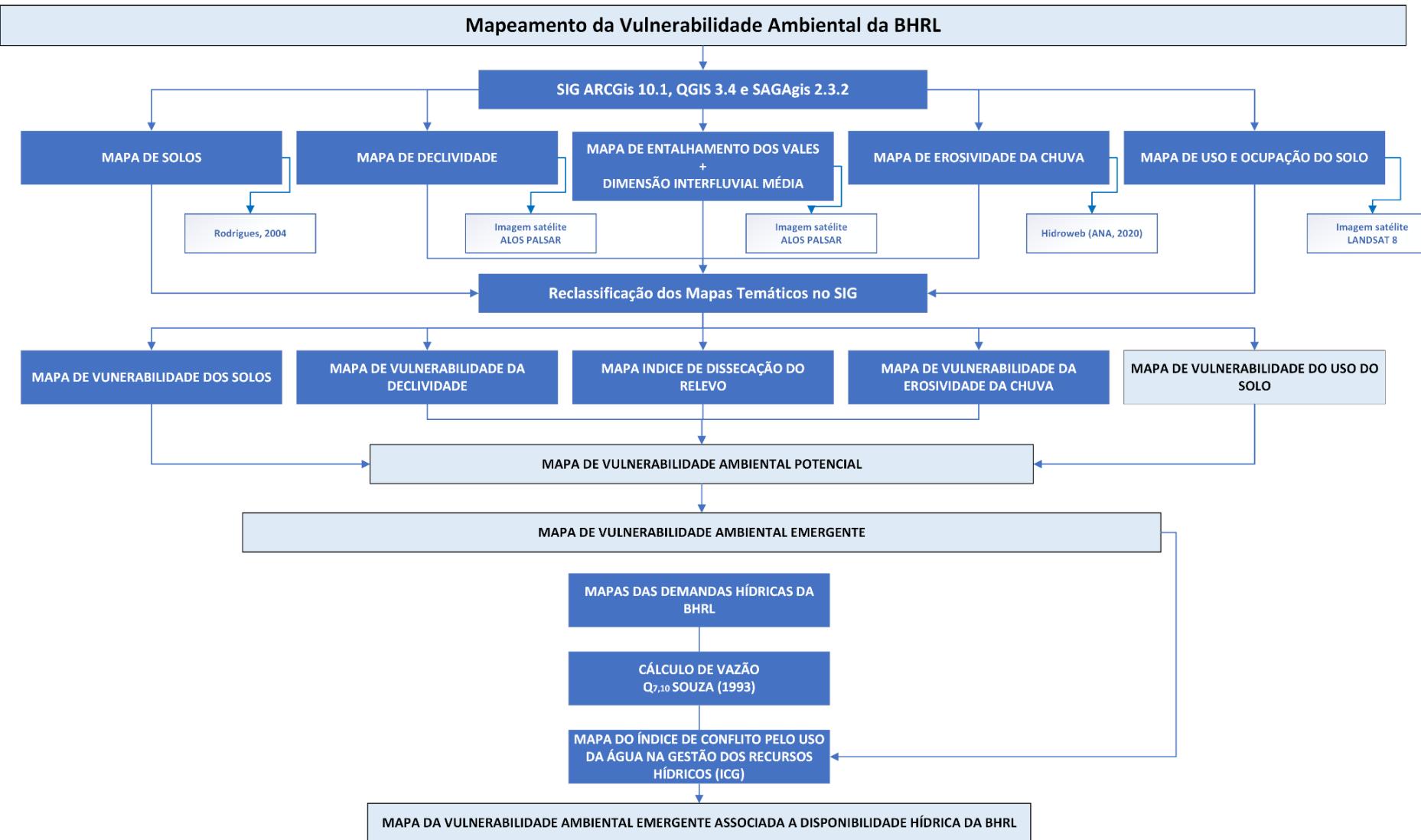
Gomes (2013), em seu estudo de avaliação de potencial erosivo na bacia hidrográfica do rio Almada-BA, obteve por meio da análise da vulnerabilidade ambiental um cenário em que as classes de baixa vulnerabilidade e muito fraca a fraca fragilidade representam, em média, 44% da bacia. As classes de média vulnerabilidade e fraca a média fragilidade constituem cerca de 46%. Já as classes de alta a muito alta vulnerabilidade e média a muito forte fragilidade, quando somadas, englobaram aproximadamente 10% de toda a área desta bacia.

Oliveira e Carvalho (2014) também identificaram as vulnerabilidades socioambientais com base no padrão de uso destinado ao lazer nas praias do rio Cauamé-RR. Os resultados ajudaram a traçar o perfil do meio físico, como o padrão de uso e cobertura da bacia do rio Cauamé, e serviu de base para a caracterização das áreas destinadas ao lazer e seus respectivos impactos ambientais com informações importantes para o gerenciamento/planejamento urbano e de áreas úmidas, assim como para compor bases iniciais do entendimento dos aspectos hidrogeomorfológicos de Roraima, dentre outras pesquisas.

Assim, conforme exposto, são diversos os trabalhos que empregam a análise da vulnerabilidade com subsídio à gestão dos recursos naturais.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

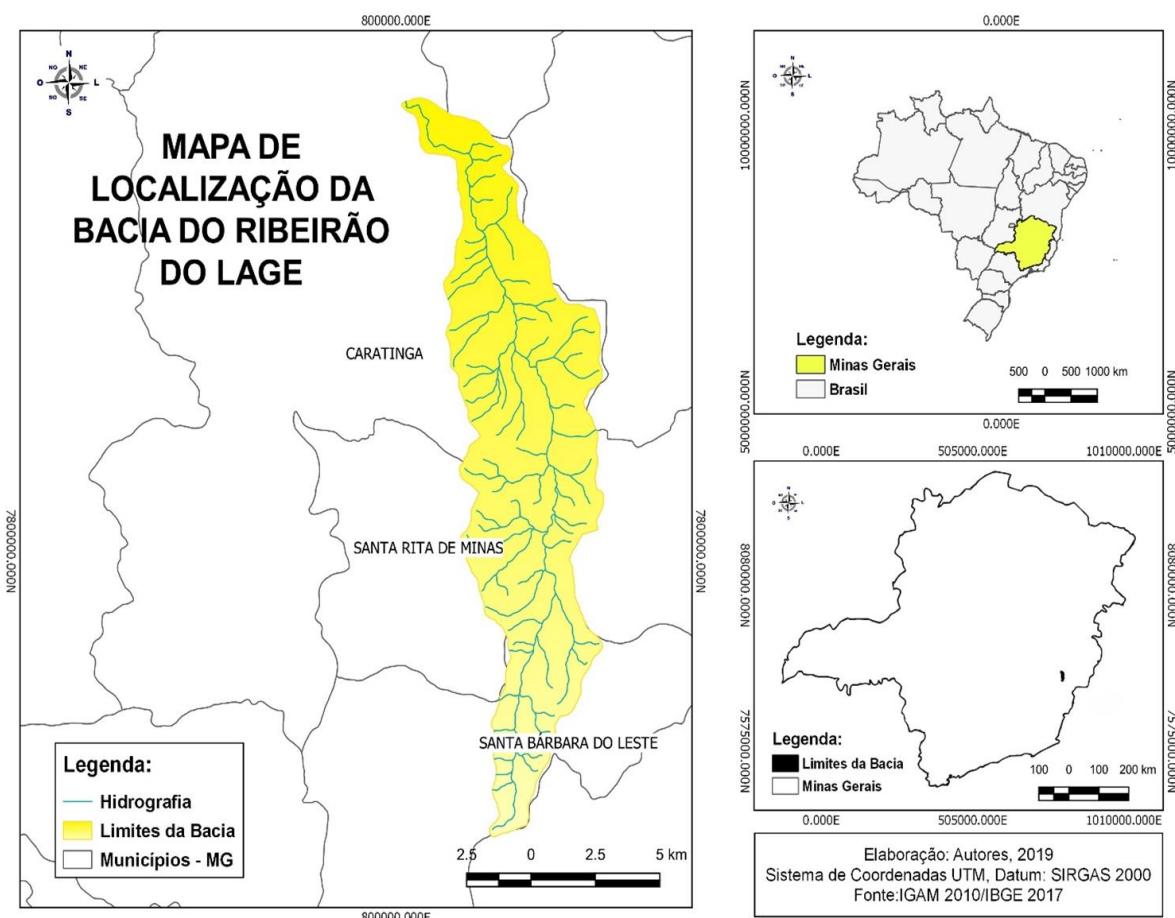
A metodologia utilizada neste estudo está apresentada no fluxograma a seguir e detalhada no decorrer deste tópico.



### 3.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão da Lage-MG (BHRL) é o mais importante tributário do Rio Caratinga, que por sua vez é afluente da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, localizada na porção leste do estado de Minas Gerais. A micro Bacia do Ribeirão do Lage, está totalmente inserida nos municípios de Santa Bárbara do Leste (24%), Santa Rita de Minas (18%) e Caratinga (58%) (Figura 3), entre as coordenadas geográficas  $19^{\circ}58'04''$  a  $19^{\circ}58'7''$  de Latitude Sul e  $42^{\circ}7'18''$  a  $42^{\circ}3'5''$  de Longitude Oeste, possui uma área de aproximadamente  $93,0 \text{ km}^2$  e uma extensão de 26,2 km de comprimento. Suas principais nascentes são delimitadas pela Serra dos Turcos e a Serra do Rio Preto.

**Figura 3** - Localização da área de estudo



### 3.2 Mapeamento da vulnerabilidade ambiental da BHRL

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental da bacia, foi empregada a metodologia elaborada por Ross (1994), descrita em Nascimento et al. (2016) e por Vital et al. (2016) onde foi empregada uma hierarquia nominal de fragilidade, representada por classes, de acordo com seu grau de vulnerabilidade.

Foram elaborados dois mapas de vulnerabilidade ambiental da área da BHRL, sendo um mapa da vulnerabilidade potencial, onde usou-se as categorias temáticas: solos, declividade, dissecação do relevo e a erosividade da chuva, e outro mapa da vulnerabilidade emergente, em que é realizada a álgebra dos resultados do mapa de vulnerabilidade potencial com a categoria temática uso e ocupação do solo.

Na Tabela 1, é mostrado como as somas foram realizadas no software *ArcGis 10.3*, onde foram atribuídos valores de forma que quanto maior o valor da classe, maior o grau de vulnerabilidade, gerando os mapas de índices de vulnerabilidade de cada categoria. A integração de cada fator foi feita utilizando o Processo Analítico Hierárquico (AHP), onde cada atributo foi avaliado de forma pareada e os pesos definidos de acordo com o grau de importância do fator em relação ao seu par (NASCIMENTO et al., 2016).

**Tabela 1** - Definição das Classes de Fragilidade Potencial e Emergente

Álgebra das Classes Temáticas				Mapa de Fragilidade Potencial (Natural)	Uso e ocupação do solo	Mapa de Fragilidade Emergente (Natural + Antrópico)	Descrição das Classes Temáticas
Solos	Declividade	Dissecção do Relevo	Erosividade da Chuva				
1	1	1	1	1	4	1	5
2	2	2	2	2	5 a 8	2	6 a 10
3	3	3	3	3	9 a 12	3	11 a 15
4	4	4	4	4	13 a 16	4	16 a 20
5	5	5	5	5	17 a 20	5	21 a 25

Fonte: Adaptado de Ross (1994), Nascimento et al. (2016) e Vale et al. (2016)

### 3.2.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo da BHRL

A classificação do uso do solo na BHRL deu-se inicialmente com a escolha da imagem de satélite a ser usada. Buscou-se realizar *download* da imagem mais recente, com menor percentual de nuvens, sendo que a data que melhor atendeu estes critérios foi a do dia 20 de Janeiro de 2018, do satélite Landsat-8, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da órbita 218/074, com resolução espacial de 30 metros.

O pré-processamento das imagens ocorreram no *software Spring 5.5.5*. Iniciou-se no *software* o empilhamento de bandas (RGB-654, respectivamente) para obter a imagem de composição colorida com resolução espacial de 30 metros. As imagens foram pré-processadas no *software* com uma segmentação empregando similaridade 12 e área dos *pixels* 15.

Posteriormente, foi aplicado o método de classificação supervisionada, através do algoritmo de classificação de distância *Bhattacharyya*, estabelecendo-se como classes de uso do solo para a bacia: Vegetação Natural (mata nativa), Pastagem (áreas de pastos),

Cafeicultura (café), Silvicultura (eucalipto), Área Antropizada (áreas com pequenos centros populacionais, todo tipo de construção humana) e Água (lagos ou barramentos).

Dados de drenagem da bacia não puderam ser identificados devido a resolução espacial da imagem, por isso, a hidrografia utilizada é da base cartográfica digital do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), na escala de 1:100.000 do ano de 2010. Foi utilizado também o programa *Google Earth* para análise espacial, permitindo a identificação das classes.

### 3.2.2 Mapeamento da declividade da BHRL

Para a elaboração do mapa de declividade da BHRL foram empregados os dados altimétricos do Modelo Digital de Elevação (MDE), com uso da imagem do satélite *ALOS* do radar *PALSAR*, de abertura sintética que opera na Banda L, com resolução espacial variando de 12,5 metros, do site *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*. O limite da microbacia foi recortado por meio do software *ArcGis 10.3*.

Para a elaboração desse mapa de declividade foi utilizada a ferramenta *Spatial Analyst*, e a partir das opções *Surface* e *Slope*, foi calculada em porcentagem a declividade. O mapa de declividade gerado foi estratificado em classes, por meio da ferramenta *Reclass* do *Spatial Analyst*, empregando-se as classes, conforme o Quadro 3.

**Quadro 3 - Classes de Relevo empregadas na elaboração do mapa de declividade**

Classe	Declividade	Descrição da classe de relevo
<b>Plano</b>	<b>(0 - 3%)</b>	Superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnívelamentos são muito pequenos.
<b>Suave ondulado</b>	<b>(3 - 8%)</b>	Superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas ou outeiros, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos).
<b>Ondulado</b>	<b>(8 - 20%)</b>	Superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos, pendentes ou encostas com declives maiores.
<b>Forte Ondulado</b>	<b>(20 - 45%)</b>	Superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de outeiros ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos, configurando encostas ou pendentes.
<b>Montanhoso</b>	<b>(45 – 75%)</b>	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas accidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos, montanhosos, apresentando desnívelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes.
<b>Escarpado</b>	<b>(&gt; 75%)</b>	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestas, falésias e vertentes de declives muito fortes.

Fonte: EMBRAPA (2013)

### 3.2.3 Mapeamento das classes de solos da BHRL

Para identificação das classes de solo presentes na área da BHRL foi utilizado o Mapa de Solo com a escala de 1:100.000 elaborado no estudo de Rodrigues (2004), e também os critérios descritos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (2013).

Como houveram alterações na classificação dos solos brasileiros com o passar das décadas foi realizada a atualização das nomenclaturas conforme os autores IBGE (2007), Jacomine (2009), Franco et al. (2012), Mata (2007) e Oliveira (2001) que adaptaram os níveis categóricos dos solos com os resultados de seus estudos, pesquisas e levantamentos de campo com as diferentes edições da Classificação Brasileira de Solos. O mapa foi digitalizado em tela empregando-se o SIG *ArcGIS*®, e a cada polígono foi atribuída a respectiva classe de solo por meio da adição desta no campo criado na tabela de atributos desta camada.

### 3.2.4 Mapeamento das classes geomorfológicas da BHRL

#### *4.2.4.1 Mapeamento dos Padrões de Relevo da BHRL*

Para a elaboração do mapa dos padrões de relevo da BHRL foi empregada a Base de Dados Espacial 1:150.000 em meio digital (CPRM, 2010). O mapa foi feito utilizando o SIG *ArcGIS®*, e a cada polígono foi atribuída a respectiva classe de relevo por meio da adição desta no campo criado na tabela de atributos desta camada.

#### *3.2.4.2 Mapeamento do índice de dissecação do relevo da BHRL*

Para obter o índice de vulnerabilidade do relevo foi aplicada a metodologia de automatização do índice de dissecação do relevo desenvolvido por Guimarães et al. (2017). Este índice apresenta uma avaliação morfométrica do relevo, que analisa o grau de entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial média, sendo aplicado para diversas finalidades como mapeamento geomorfológico, relação morfogênese-pedogênese e estudos de vulnerabilidade ambiental (CAMPOS, 2018; CREPANI et al., 2001; GUIMARÃES et al., 2017).

O procedimento foi dividido em quatro etapas. Na primeira etapa realizou-se o tratamento e preparação do Modelo Digital de Elevação (MDE), com uso da imagem do satélite *ALOS* do radar *PALSAR* de abertura sintética que opera na Banda L, com resolução espacial de 12,5 metros, do site *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)*, que foi recortada para o limite da microbacia, por meio do software *ArcGis 10.3®*. Posteriormente, foi feita a preparação do MDE com a aplicação de um buffer de 2 km em torno da área de estudo e preenchimento das depressões espúrias por meio da ferramenta “*fill*”.

Na segunda etapa, para realizar o mapeamento do grau de entalhamento dos vales, multiplicou-se o MDE por -1 transformando os “picos” em “vales” e, a partir deste, obteve-se a direção de fluxo e aplicou-se a função “*sink*” para identificar as depressões espúrias que correspondem aos “picos”. Em seguida, o “*raster*” obtido foi transformado em vetor de pontos, atribuindo-se, a partir da função “*add surface information*”, as cotas dos picos contidas no MDE e as convertendo novamente para o formato “*raster*” utilizando os valores das cotas altimétricas.

Posteriormente aplicou a função “*basin*” ao “*raster*” de fluxo gerado a partir do MDE invertido e converteu-se a camada resultante para o formato vetorial do tipo polígono. Assim

atribuiu-se os valores altimétricos dos picos aos polígonos das superfícies de referência por meio da função “*zonal statistics*”, utilizando o valor máximo.

Por fim, pela álgebra de mapas realizou-se a operação de subtração entre o “*raster*” com os valores altimétricos das áreas e o “*raster*” do MDE original com depressões espúrias. Desta forma, foi adquirido o desnível entre altimetria do pixel e a cota do pico, para cada *pixel*.

Na terceira etapa realizou-se o mapeamento da dimensão interfluvial média, onde em princípio, aplicou-se a direção de fluxo ao MDE tratado e depois determinou-se o fluxo acumulado. Pela função “*conditional*” indicou-se o número de pixel mínimo para definir a rede de drenagem. As microbacias foram obtidas pela função “*watershed*” e o arquivo resultante foi convertido tanto para formato vetor tipo polígono como para polilinha.

Em seguida, utilizou-se a função distância euclidiana ao vetor do tipo polilinha, em que os valores de cada pixel representavam a distância euclidiana até o interflúvio mais próximo da bacia no qual estava inserida. O “*raster*” gerado por este processo teve os valores dos pixels transformados para números inteiros por meio da função “*Int*”.

A fim de obter os pontos de maiores distâncias em relação ao interflúvio que representam o “raio da bacia”, multiplicou-se o “*raster*” da distância euclidiana por -1. Então, determinou-se a direção de fluxo deste e aplicou-se o comando “*sink*” obtendo as depressões, que por sua vez foi convertido em vetor do tipo ponto.

Os pontos criados referem-se ao centro das microbacias aos quais foram adicionados os valores do “raio da bacia” pela função “*add surface information*”. Assim, a dimensão interfluvial média apresenta-se igual ao diâmetro interfluvial médio, sendo, portanto, multiplicado por 2 os valores dos raios das bacias. Finalmente, para adicionar os valores de dimensão interfluvial média às bacias foi utilizada a função “*zonal statistics*”.

Na quarta etapa após obter os “*rasters*” referentes ao grau de entalhamento dos vales e da dimensão interfluvial média foi preciso reclassificá-los de acordo com Ross (1994), considerando um exagero vertical de 10 vezes para o entalhamento dos vales, utilizou-se valores de 10 a 50, conforme aplicado por Guimarães et al. (2017).

Desta forma, o “*raster*” de grau de entalhamento de vales foi classificado em: 0 a 20 m (10); 20 a 40 m (20); 40 a 80 m (30); 80 a 160 m (40); >160m (50), enquanto para o “*raster*” de dimensão interfluvial média utilizou-se: 0 a 250 m (5); 250 a 750 m (4); 750 a 1750 m (3); 1750 a 3750 m (2); >3750 m (1).

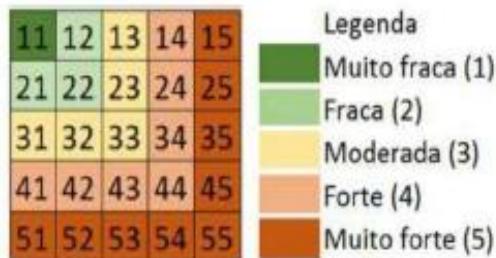
Posteriormente foi realizada a operação de soma entre os dois mapas reclassificados, apresentando pixels variando de 11 a 55 metros, e realizado o agrupamento conforme as classes de fragilidade propostas por Ross (1994), conforme apresentado na Tabela 2 e na Figura 4.

**Tabela 2** - Matriz do índice de dissecação do relevo

Grau de entalhamento dos vales	Dimensão Interfluvial Média				
	Muito Grande (1) > 3750m	Grande (2) 1750 a 3750m	Média (3) 750 a 1750m	Pequena (4) 250 a 750m	Muito Pequena (5) ≤ 250m
Muito Fraco (1) < 20m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 – 40m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 – 80m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 – 160m	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) > 160m	51	52	53	54	55

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

**Figura 4** - Reclassificação da dissecação do relevo proposta por Ross (1994)



Fonte: Adaptado de Guimarães et al. (2017) e Ross (1994)

### 3.2.4 Mapeamento da erosividade da chuva

Para a construção do mapa de erosividade da chuva, foram utilizadas informações de 08 estações pluviométricas localizadas no entorno da área de estudo utilizando a metodologia adaptada de Gonçalves et al. (2011), por meio de interpolação, utilizando séries históricas de 30 anos de dados provenientes de estações pluviométricas localizadas na região da bacia hidrográfica. Os dados foram obtidos junto ao *Hidroweb*, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020).

Dentre as 08 estações selecionadas, 06 (1841020, 1941018, 1942006, 1942031, 2041048 e 2042017) apresentaram lacunas na série histórica. Diante disso, realizou-se o preenchimento das falhas por meio de regressão linear simples (ANA, 2012), utilizando dados das 02 estações cuja série histórica estava completa (1941011 e 1942030). Em seguida,

calculou-se o fator de erosividade da chuva com base no modelo proposto por Neto e Moldenhauer (1992), conforme a Equação 2:

$$\text{Equação 2: } EI = 67,355 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85}$$

Em que:

$EI$  = a média mensal do índice de erosividade das chuvas ( $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ );

$r$  = a precipitação média mensal (mm);

$P$  é a precipitação média anual (mm).

Para definir o índice de erosão médio anual ( $R$ ), realizou-se o somatório dos valores mensais do índice de erosão, conforme a Equação 3:

$$\text{Equação 3: } R = \sum_{i=1}^{j=12} EI$$

Em que:

$R$  = índice de erosão médio anual, de “i” até “j” são representados os doze meses do ano;

$EI$  = média mensal do índice de erosividade das chuvas.

Os dados foram interpolados utilizando a Krigagem. Foi utilizado o software *SAGA-GIS* para a geração do semiováriograma. Após inserir o arquivo *shapefile*, por meio do menu *geoprocessing*, foi realizado o semiováriograma, utilizando a ferramenta “*Spatial and Geostatistics → Kriging → Ordinary Kriging*”.

Por meio do menu “*points*” indicou-se o *shape* contendo os pontos com a localização das estações pluviométricas utilizadas como referência, selecionando a coluna com os atributos de erosividade da chuva. O tamanho do *pixel* de saída foi de 30 metros. A partir do procedimento anterior, gerou-se o mapa interpolado de erosividade da chuva.

### **3.3 Mapeamento das demandas hídricas da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG**

O mapa de demanda hídrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage foi confeccionado no *software* livre *QGIS 3.4* (Madeira), onde foram inseridos os pontos de outorgas de uso da água com captação superficiais dos municípios de Santa Bárbara do Leste-MG, Santa Rita de Minas-MG e Caratinga-MG, do período de Janeiro de 2016 a Dezembro de 2017, e os cadastros de usos insignificantes superficiais vigentes em 2018, dados estes

cedidos pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SE MAD) e pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) referentes aos anos de 2019 e 2020.

### **3.4 Cálculo do índices de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos da BHRL**

Foi elaborado o cálculo da razão do uso de acordo com Silva Sim et al. (2011) pela soma dos valores de todas as vazões concedidas pelo órgão ambiental sobre a vazão média de longo período ( $Q_{mlp}$ ) do Ribeirão do Lage, conforme o Atlas Digital das Águas de Minas elaborado por Euclides et.al (2011) para conhecer a realidade da bacia de estudo, conforme a equação 4.

$$\text{Equação 4: Razão de uso} = \frac{\text{Demanda hídrica (usos múltiplos)}}{Q_{mlp} \text{ da BHRL}}$$

Foram também calculados os valores das vazões  $Q_{7,10}$  da foz de cada segmento da hidrografia da bacia obtidos a partir do procedimento de regionalização de vazões, sendo utilizado o método de Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais descrito por Souza (1993).

A partir do cálculo de regionalização das vazões encontradas em cada afluente do curso principal em ambiente SIG foi calculado os índices de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos ( $I_{cg}$ ) da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG, conforme a metodologia adotada por Moreira (2010), descritos anteriormente.

#### 3.4.1 Cálculo da vazão $Q_{7,10}$ empregando a metodologia proposta por Souza (1993)

A área de drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage foi obtida por meio do cálculo do fluxo acumulado. Para gerá-lo empregou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido por meio do satélite *ALOS* do radar *PALSAR* de abertura sintética que opera na Banda L, com resolução espacial 12,5 metros do site *Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)* e na identificação dos cursos d'água e desenho de seus percursos foi utilizada a carta de bacias ottocodificadas, em formato shapefile (IGAM, 2010).

Como o trabalho adotou um processo que considera a direção do fluxo, o primeiro procedimento foi obtenção do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), por meio da análise e correção das depressões ou elevações espúrias (células com

valores inconsistentes no relevo). As depressões espúrias presentes em um MDE ocasionam descontinuidade do escoamento superficial descendente para uma célula vizinha, por isso, foram identificadas com o emprego da ferramenta “*Sink*” e corrigidas com a ferramenta “*Fill*”, ambos disponíveis no SIG.

A partir do MDEHC, foi gerado o mapa de direção de fluxo e o mapa de fluxo acumulado. Este último, armazena em cada uma de suas células o número de células cuja vazão verte para aquele ponto, multiplicando estas pela área de um pixel ( $156,25\text{ m}^2$ ).

De posse das áreas de drenagem para cada ponto da hidrografia, foram calculadas as vazões  $Q_{7,10}$  para todos os pontos dos cursos d’água com o emprego do Método de Souza (1993) descrito em ambiente SIG. As vazões características relativas à seção de interesse foram calculadas com o emprego da Equação 5.

$$\text{Equação 5: } Qm = Rm_e * Ad$$

Em que:

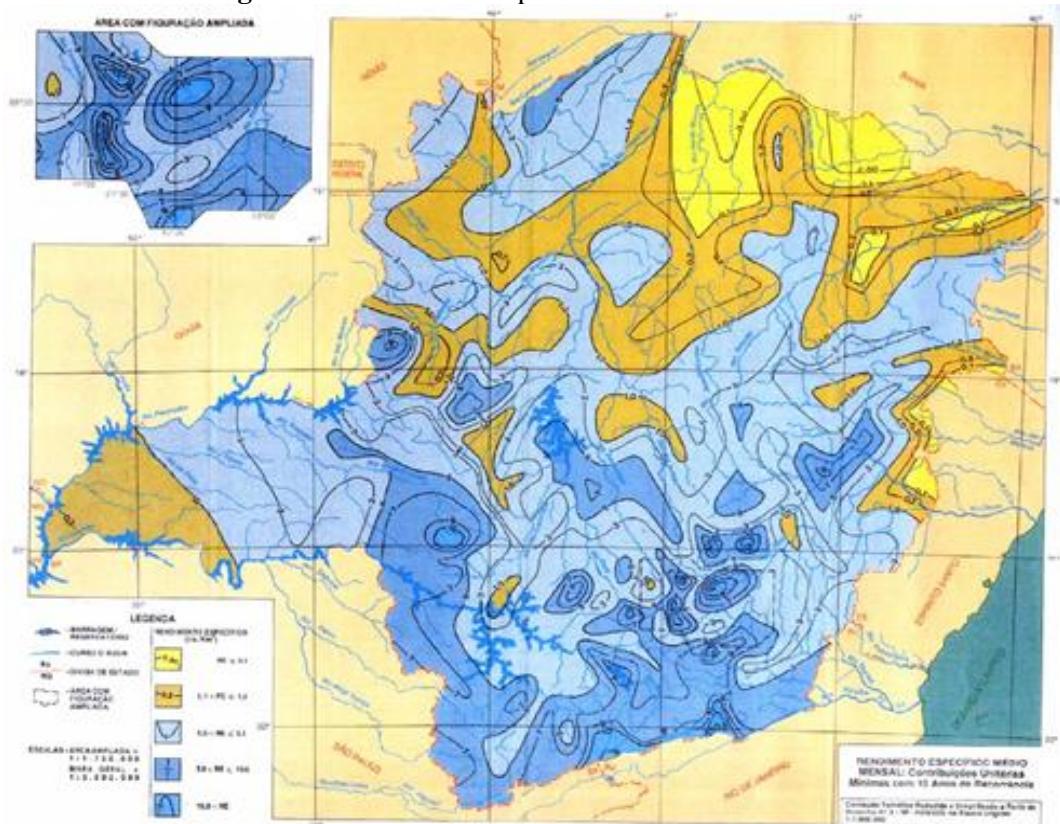
$Qm$  = Vazão característica relativa à seção de interesse ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Ad$  = Área controlada pela seção ( $\text{km}^2$ );

$Rm_e$  = Rendimento médio específico equivalente na bacia controlada pela seção ( $\text{l.s}/\text{km}^2$ ).

Para cálculo das vazões características mínimas o  $Rm_e$  foi obtido pela sobreposição do limite da bacia de contribuição do ponto em análise ao mapa “Rendimento específico médio mensal: Contribuições Unitárias Mínimas com 10 Anos de Recorrência” (Figura 5).

**Figura 5 - Rendimento específico médio mensal**



Fonte: Souza (1993)

Após o cálculo da vazão característica da seção de interesse, a vazão Q<sub>7,10</sub> foi calculada pela Equação 6.

$$\text{Equação 6: } Q_{7,10} = F_{10,7} * Q_m$$

Em que:

F<sub>7,10</sub> = Fator de proporção fornecido pela função de inferência regionalizada;

Q<sub>m</sub> = Vazão característica relativa à seção de interesse (m<sup>3</sup>/s).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na metodologia adotada, atribui-se a cada categoria valores crescentes de 1 a 5, representando os Graus de Fragilidade, para as classes de uso e ocupação do solo, declividade, solos, índice de dissecação do relevo e erosividade da chuva (Tabela 3). Nos próximos tópicos a seguir estão os resultados obtidos de cada categoria conforme a realidade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG.

**Tabela 3 - Graus de Fragilidade**

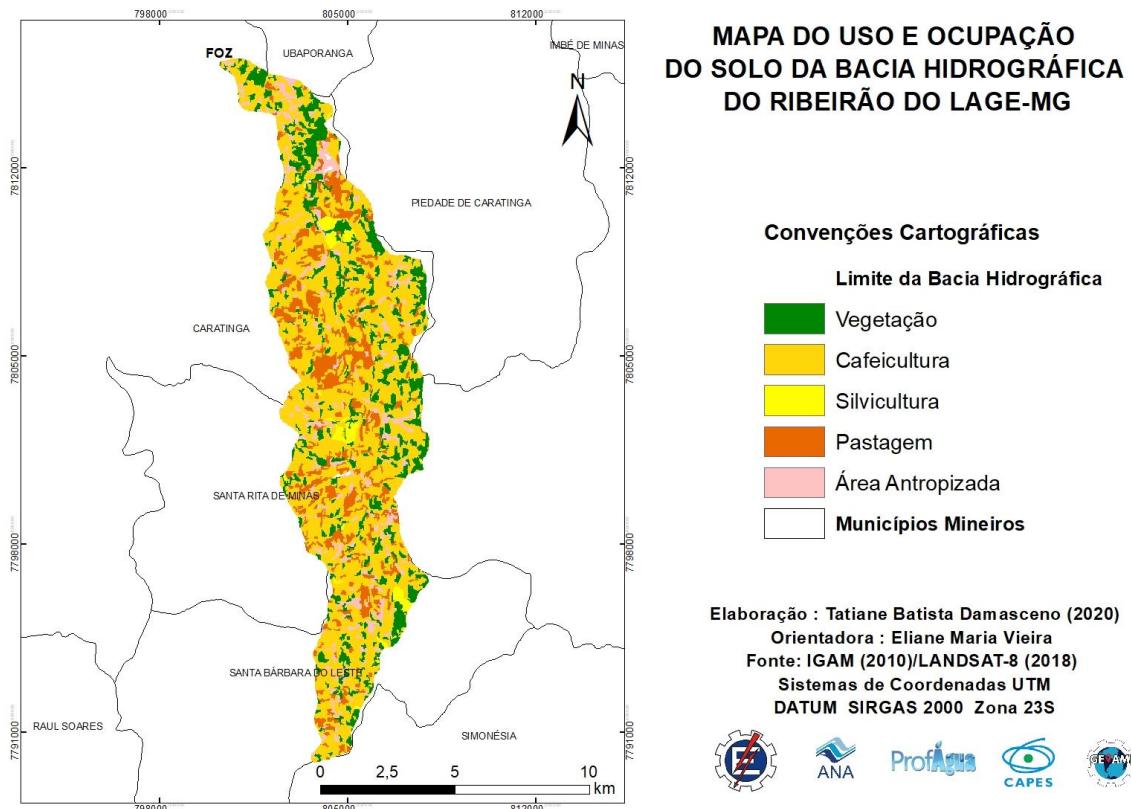
Pesos	Graus de Fragilidade
Muito Fraco	1
Fraco	2
Médio	3
Forte	4
Muito Forte	5

Fonte: Ross (1994)

### 4.1 Mapeamento do uso e ocupação do solo da BHRL

A Figura 6 apresenta o mapeamento do uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG referente ao ano de 2018.

**Figura 6 - Uso e Ocupação do solo bacia hidrográfica Ribeirão do Lage -MG**



Pode-se constatar um percentual significativo de áreas de produção agrícola, onde a cafeicultura representa 54,72% da área total da bacia e as pastagens em torno de 13,74% (Tabela 4).

**Tabela 4 - Quantidade de área dos Usos e Ocupações do Solo na BHRL - MG**

Uso e Ocupação do solo	Área	
	Km <sup>2</sup>	(%)
Área Antropizada	7,20	7,74
Cafeicultura	54,70	58,81
Pastagem	13,74	14,77
Silvicultura	1,94	2,08
Vegetação Natural	15,30	16,45
<b>Total</b>	<b>93 km<sup>2</sup></b>	<b>100 %</b>

Por meio de imagens do programa Google *Earth* e através de visitas de campo foi possível observar que dentro das áreas do município de Santa Bárbara do Leste e Santa Rita de Minas até o Distrito de Santa Luzia a produção cafeeira se expandiu de forma significativa, ocupando a grande maioria das encostas, em algumas áreas até mesmo os topes de morros.

A Foto 1, demonstra como os topes de morros estão sendo ocupados no decorrer da bacia hidrográfica.

**Foto 1 - Uso e Ocupação do Solo por Cafeicultura nos Topos de Morros da BHRL-MG**



Fonte: Autora deste estudo, 2019

As áreas de vegetação natural, vistas como importantes para a manutenção das recargas hídricas, resultaram em apenas 16,45%, demonstrando que essas atividades agrícolas ocasionaram desmatamentos ao longo de toda a bacia, incluindo regiões de topes

de morros e APPs de rios e nascentes, áreas que são protegidas conforme o código florestal brasileiro Lei nº 12.651 de 2012. Isso evidencia um aumento na degradação ambiental, que pode desencadear e/ou acelerar os processos erosivos e assoreamento dos rios.

Tal constatação vai ao encontro ao estudo de Rocha (2016), que afirma que a mudança da paisagem em áreas rurais com o intuito da implementação da agricultura, tem proporcionado desequilíbrios nos diversos níveis do estrato terrestre, seja na diminuição dos solos agricultáveis pelos processos erosivos, seja na diminuição de nascentes e mananciais.

De acordo com o código florestal brasileiro, as áreas de preservação permanente têm a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (BRASIL, 2012). Tais áreas incluem topos de morros e encostas, as margens dos rios, que quando não preservados aumentam a os riscos de poluição dos recursos hídricos por processos erosivos, por exemplo.

A preservação dos topos de morro tem um papel fundamental na manutenção da disponibilidade de água, uma vez que, são áreas de recarga de aquíferos. Desta forma, a proteção da vegetação nestas áreas aumenta a estruturação do solo, melhorando sua permeabilidade e permitindo maior infiltração da água, o que também reduz a formação de processos erosivos.

Uma ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão e controle das atividades que estão causando a degradação ambiental da bacia seria o Cadastro Ambiental Rural (CAR), que é um registo eletrônico dos imóveis rurais que tem como uma de suas finalidades apresentar informações acerca da situação das Áreas de Preservação Permanente (APP) destes imóveis.

A partir das informações coletadas na CAR, os órgãos gestores dos recursos hídricos podem utilizar o Plano de Recuperação de Áreas Degradas (PRAD) como uma ferramenta empregada pela gestão de recursos hídricos para reverter a situação de degradação da bacia de estudo. De modo a subsidiar a adoção de medidas de recuperação de áreas degradadas e restituição do ecossistema já degradado pelas interferências mencionadas. O PRAD é solicitados pelos órgãos ambientais como parte integrante do processo de licenciamento de atividades com potencial de degradação do ambiente.

A Foto 2 ilustra a ocupação de trechos da BHRL por pastagens com forte predominância nas regiões próximas ao distrito de Santa Luzia de Caratinga-MG. Assim como a cafeicultura, este tipo de uso do solo pode provocar um aumento da erosão do solo,

principalmente por compactação, intensificando os processos erosivos e de arraste de sedimentos para os leitos dos rios, causando assoreamentos e diminuição da vazão dos cursos d'água na BHRL.

**Foto 2 - Ocupação do Solo por Pastagens na BHRL-MG**



Fonte: Autora deste estudo, 2019.

A Foto 3 apresenta o uso do solo pela silvicultura que se encontra em poucas propriedades rurais na extensão do Ribeirão do Lage.

**Foto 3 - Ocupação do Solo por Silvicultura na BHRL-MG**



Fonte: Autora deste estudo, 2019

A categoria classificada como Silvicultura apresentou-se em vários pontos da bacia hidrográfica, porém com percentual de 2,08%. Percebe-se que um plano de manejo florestal na BHRL deve ser feito em cada propriedade rural que possui florestas plantadas de eucalipto com intuito de conservar os recursos naturais e garantir a disponibilidade hídrica durante todo o ano.

Algumas áreas antropizadas foram levantadas nesta classificação entorno de 7,74 %, sendo em sua maioria fazendas de café de grande porte, diferentes comunidades rurais e se destaca o distrito de Santa Luzia de Caratinga/MG.

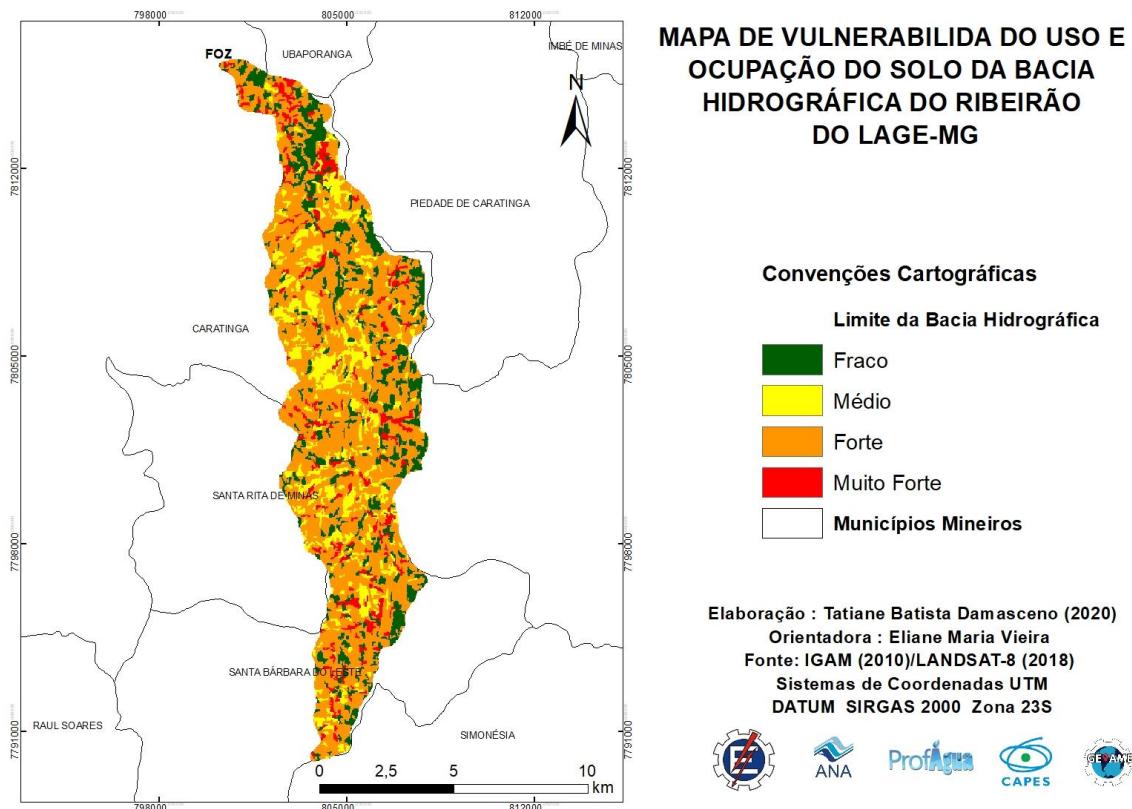
Na Figura 6 também são apresentadas algumas áreas de loteamentos com lagos e lagoas em seu entorno onde identificou-se percentual de 0,12 % para a categoria classe de Água na porção representada pelo município de Caratinga/MG.

Os índices de vulnerabilidade de uso e ocupação do solo nesta bacia hidrográfica foram definidos conforme o padrão de usos definidos por Ross (1994), de acordo com a Tabela 5 e sua classificação está apresentada na Figura 7.

**Tabela 5** - Índice de vulnerabilidade das classes de usos do solo e ocupação na BHRL-MG

Índice	Usos do Solo	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0	Água	0,12	1,20
1 (Muito Fraco)	Vegetação	15,30	16,33
3 (Médio)	Pastagem	13,74	14,00
4 (Forte)	Cafeicultura/Silvicultura	55,64	61,00
5 (Muito Forte)	Área Antropizada	7,20	7,60

**Figura 7 - Mapa de vulnerabilidade do uso e ocupação da BHRL-MG**



Nas áreas delimitadas como Vegetação, foi atribuído o valor 1, uma vez que a cobertura vegetal representa um importante fator na proteção do solo contra os processos erosivos, contribui para a recarga do aquífero, atua na amenização do microclima, além de contribuir para a preservação da fauna local (NASCIMENTO et al., 2016).

As áreas destinadas às pastagens oferecem proteção média aos solos sendo classificado como o índice 3 de fragilidade e as culturas de ciclo curto, cana-de-açúcar e café proteção baixa aos solos, sendo classificado como forte índice de fragilidade (4). Desta forma, as áreas com estes tipos de uso e cobertura do solo são classificadas como de Fragilidade Emergente, ou seja, estas características de uso da terra geram situações de desestabilização, alterando o equilíbrio dinâmico (SPORL, 2001).

Massa e Ross (2012) caracterizam as áreas antropizadas ou de solos expostos com um grau de proteção muito baixa, pois contribuem para o aumento dos processos erosivos e de assoreamento dos cursos d'água, logo considera-se um índice muito forte de fragilidade (5).

Assim, por meio do mapa apresentado na Figura 7, constata-se a espacialização dos índices de vulnerabilidade ambiental do uso e ocupação do solo e na Tabela 5, observa-se que 75% da bacia possui índice moderado (3) e forte (4) para esta categoria, onde a

cafeicultura, pastagem e silvicultura predominaram necessitando de intervenções adequadas para a conservação dos recursos naturais da bacia. Tais intervenções tem por objetivo garantir a preservação dos recursos hídricos.

Assim, nas áreas de pastagem recomenda-se a subsolagem como prática intervencionista, visando aumentar a infiltração da água no solo, um vez que, estas áreas apresentam elevados graus de compactação dos solo pelo pisoteio de animais. De acordo com os autores Santos, Figueiredo e Carvalho (2019) em áreas de pastagem é comum a presença de camadas de solo compactadas pelo pisoteio de animais e uso intenso, que em alguns casos, chegam a expor o solo, maximizando os riscos de escoamento superficial e consequente erosão.

Ainda segundo estes autores a subsolagem é uma técnica utilizada para romper camadas de solo que tenham sofrido compactação, ou mesmo, perfis de solo mais densos, o que diminui a resistência do solo à penetração das raízes e o aumento no volume dos macroporos, aumentando a infiltração da água.

A infiltração é o processo de penetração da água nas camadas do solo próximas à superfície do terreno até atingir uma camada suporte que a retém, formando então o teor de umidade de um solo (ANA, s.d.). Desta forma, o aumento da infiltração da água no solo reduz o escoamento superficial direto, o qual produz efeitos negativos para o manejo da bacia, e causa a poluição dos recursos hídricos.

O aumento da infiltração promove preenchimento dos poros do solo pela água que fica retida na matriz do solo, a qual pode ser utilizada pelas plantas, bem como recarga de aquíferos, sendo esta função de suma importância para a regularização e perenização dos rios (ANA, s.d.).

Nas áreas de cafeicultura e silvicultura recomenda-se a utilização de plantas de cobertura nas entrelinhas das plantações de café e eucalipto. Desta forma, o solo fica coberto durante o período chuvoso o que controla a erosão, evita que elementos em estado solúvel sejam lixiviados nas águas de percolação e proporciona a proteção da matéria orgânica do solo contra o efeito direto dos raios solares (ZONTA et al., 2012). As plantas de cobertura proporcionam ainda a proteção ao solo, o controle de espécies daninhas e aporte de nutrientes para o sistema (HIRATA et al., 2013).

Nas plantações de café o plantio de determinadas espécies nas entrelinhas, além de ser benéfico no controle de plantas daninhas, proporciona a diversificação do agrossistema e aumenta o número de insetos polinizadores, parasitoides e de predadores de pragas da lavoura

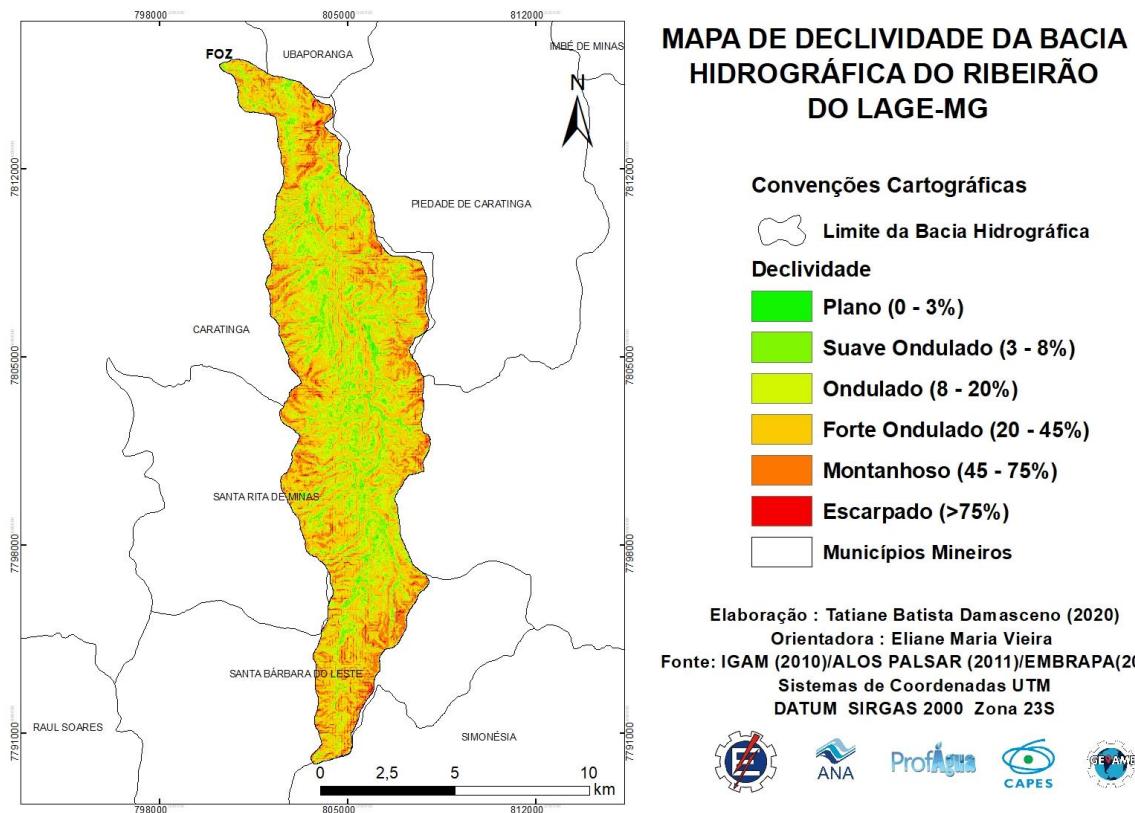
(SANTOS; MARCHI; MARCHI, 2008). A escolha da espécie a ser utilizada no plantio nas entrelinhas do café deve ser feita considerando as especificidades do local e a espécie de planta daninha que se deseja controlar.

Rocha (2016) afirma que o uso do solo pela cafeicultura quando se torna intenso em uma bacia hidrográfica não havendo práticas de manejo e conservação do solo, a qualidade ambiental torna-se baixa, causando: erosão do solo, baixa produtividade, poluição dos mananciais e assoreamentos dos rios. E ainda o resultado obtido do índice muito fraco (1) de apenas 15 % representando a vegetação reforça como a bacia hidrográfica está sendo degradada pela agricultura local.

#### 4.2 Mapa de declividade da BHRL

A declividade da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG está representada na Figura 8, sua área, porcentagem e índices de vulnerabilidade ambiental estão descritas na Tabela 6. O relevo nas áreas planas a onduladas com a cor esverdeada, estão próximas aos cursos d'água e planícies em toda sua extensão. Já o relevo Ondulado a Montanhoso possui cores do amarelo ao alaranjado indicando as áreas íngremes e topos de morros.

**Figura 8 - Mapa da declividade da bacia hidrográfica Ribeirão do Lage -MG**



**Tabela 6** - Índice de vulnerabilidade ambiental das classes de declividade da BHRL-MG

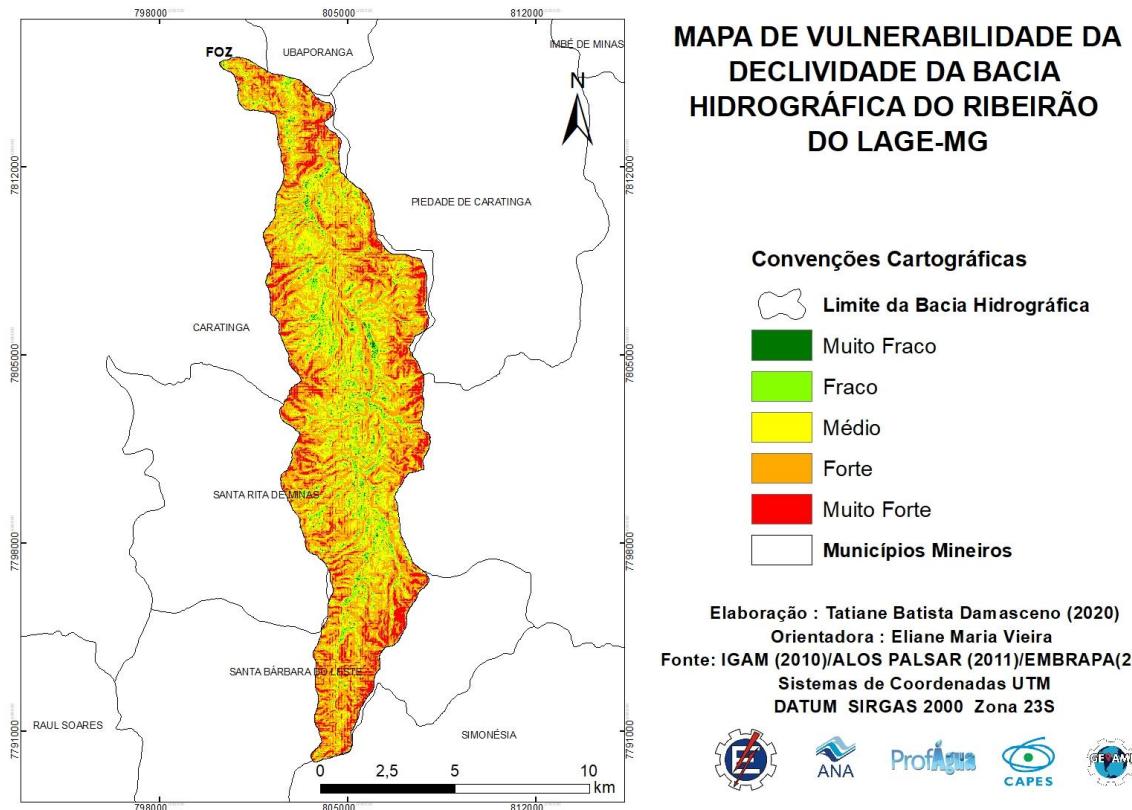
Índice de Vulnerabilidade	Classes de Declividade		Área	
	Nome	Intervalo (%)	Km <sup>2</sup>	(%)
1 (Muito Fraco)	Plano	0-3	2,41	2,61
2 (Fraco)	Suave	3-8	9,11	9,79
3 (Médio)	Ondulado	8-20	27,2	29,35
4 (Forte)	Forte Ondulado	20-45	41,13	44,22
5 (Muito Forte)	Montanhoso	45-75	12,01	12,91
	Escarpado	> 75	1,14	1,22
<b>Total</b>			<b>93</b>	<b>100</b>

Como a BHRL é uma região de cultivo cafeeiro, grande parte desses topos de morros já se encontram com plantações de café e entre outros tipos de uso do solo. Poucas áreas escarpadas foram identificadas nas proximidades do município de Santa Bárbara do Leste-MG, que estão representadas em vermelho.

Na Tabela 6 observa-se que 29,35% da área predomina o relevo caracterizado como ondulado, e 44,22% como forte ondulado e montanhoso com 12,91%. Portanto fatores externos tais como a precipitação elevada, o tipo de uso e ocupação do solo associado ao processo de desmatamento e as peculiaridades dos tipos de solos nestas localidades podem agravar os processos erosivos. Acrescenta-se também os índices de vulnerabilidade ambiental das classes de declividade que foram gerados adaptando-os da metodologia de Ross (1994) tendo em vista os processos formadores do solo e a pedogênese, conforme apresentado na Tabela 6.

A declividade tem influência na infiltração das águas das chuvas e na velocidade de escoamento superficial por ser uma característica topográfica diretamente relacionada à erosão superficial (Valladares et al., 2012). A vulnerabilidade ambiental da declividade da BHRL está na Figura 9.

**Figura 9 - Mapa de vulnerabilidade da declividade da BHRL-MG**



Assim sendo um total de 86,48% da bacia hidrográfica da área da BHRL possui áreas com relevo ondulado que apresentam um grau de vulnerabilidade ambiental moderado (3), até o relevo montanhoso classificado com grau de vulnerabilidade ambiental muito forte (5). Alguns locais próximos aos cursos d'água, em torno de 12,40 % apenas que se apresentaram com índice de vulnerabilidade ambiental muito fraco (1) a índice de vulnerabilidade ambiental fraco (2).

Como esta bacia apresenta altos índices de declividade, ela está propícia a maiores escoamentos superficiais ocasionando o arraste de sedimentos até o leito do Ribeirão do Lage, acarretando assoreamentos e modificações na qualidade e quantidade de água disponível.

O autor Calil et al. (2012), avigora que as características do relevo juntamente com as características das formações pedológicas, inferem qualitativamente sobre as taxas de escoamento superficial na área que serão maiores nas localidades de relevo mais dissecado e menores nas áreas com relevo de até 20% de declividade. Logo, as condições de infiltração são maiores para as classes de relevo plano, suave ondulado e ondulado, e menores para as áreas que apresentam relevo forte ondulado e montanhoso.

Segundo Tucci e Mendes (2006), a preservação de matas ciliares e de áreas que apresentam grandes declividades, são ações importantes para evitar que se instale uma excessiva erosão do solo. A erosão do solo gera áreas degradadas, que não permitem a continuidade do uso agrícola, a perda de solo fértil para o plantio e transporte de sedimentos para jusante levando contaminação e assoreando ao leito dos rios.

O uso de práticas de conservação do solo procura minimizar estes impactos, como por exemplo por meio do emprego de terraceamentos no plantio convencional. O terraceamento diminui a declividade do escoamento e reduz o ravinamento e voçorocas por erosão. Outra técnica que pode minimizar a deterioração do solo e diminuir estes processos de erosão e arraste de sedimentos até o rio é o plantio direto, tipo de plantio que reduz o escoamento superficial, fazendo com que o mesmo ocorra pelo subsolo (TUCCI; MENDES, 2006).

A eficiência dos terraços no controle de processos erosivos é fortemente influenciada pela manejo correto do solo, de modo a evitar sua compactação excessiva e melhorar a cobertura do solo. De acordo com os autores Franchini e outros (2016), caso haja o manejo adequado dos solos, mantendo uma taxa de infiltração estável do solo de  $50 \text{ mm h}^{-1}$ , a eficiência dos terraços fica em torno de 87%.

De acordo com os autores Cruz e outros (2001) as curvas de infiltração da água no solo, obtidas com chuva simulada, com plantio direto foi de 45 mm/h (100%), enquanto que no preparo convencional foi de 35 mm/h (78%) e somente 26 mm/h (58%). Evidenciando a eficiência deste sistema na redução dos escoamento superficial da água, o que reduz a formação de processos erosivos.

#### **4.3 Padrões de Relevo da BHRL**

A Bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG também está inserida no domínio das unidades denudacionais em rochas cristalinas ou sedimentares. Machado e Silva (2010) explicam que as formas desse domínio caracterizam-se por se tratar de padrões de relevos de degradação em qualquer litologia, à exceção dos padrões de vales encaixados e de colinas amplas e suaves, nos quais a degradação é predominantemente em rocha sedimentar.

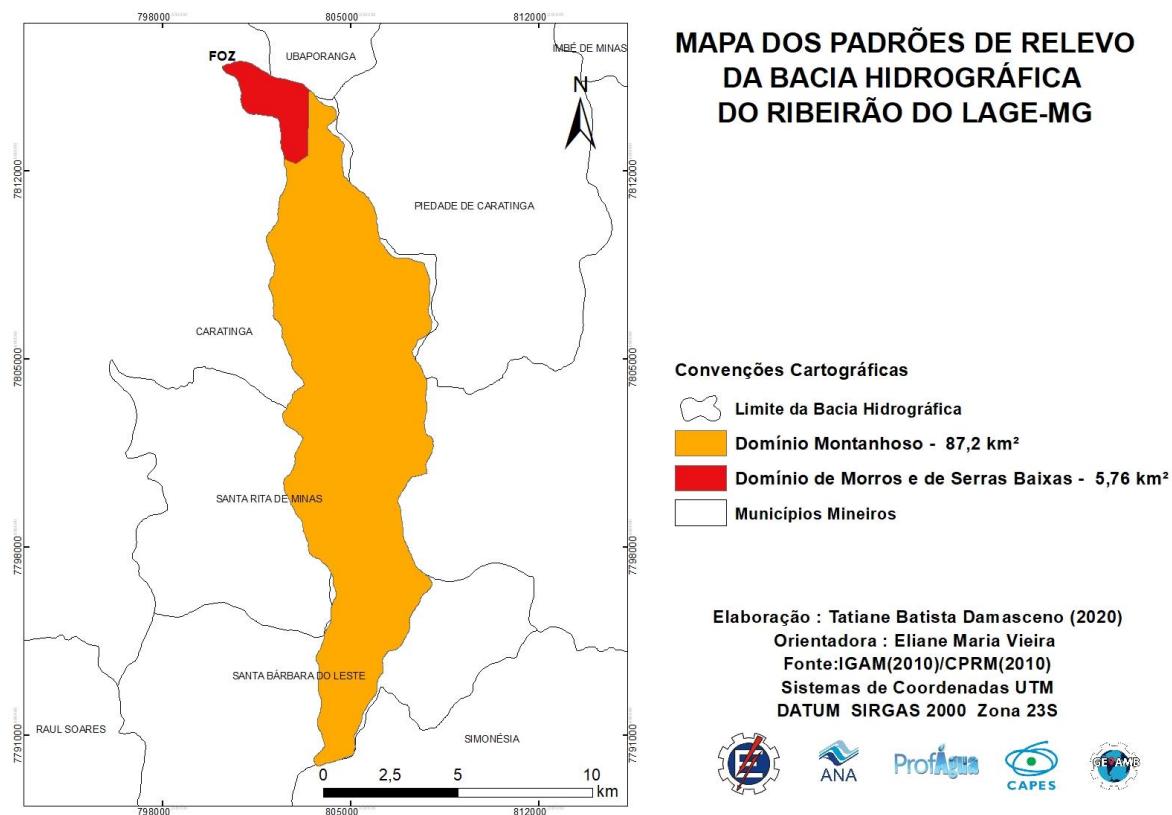
Machado e Silva (2010) definem este domínio com formas muito accidentadas, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus; exibem sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Estes autores

também explicam que estes relevos apresentam amplitude de relevo acima de 300 metros, podendo apresentar, localmente, desnivelamentos inferiores a essa medida. As inclinações de vertentes variam entre 25-45°, com possível ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°).

Nesse padrão de relevo há franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos em terrenos muito acidentados), além da atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Pode haver geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes

Entretanto, na foz da BHRL situado na extensão do município de Caratinga-MG é representada pelo domínio de Morros e de Serras Baixas (R4b) com 6,2 % da área da bacia hidrográfica, estes correspondem a morros convexo-côncavos dissecados com topos arredondados ou aguçados (Figura 10 e Tabela 7), sendo um típico relevo de degradação em qualquer litologia.

**Figura 10 - Padrões de relevo da BHRL-MG**



**Tabela 7 - Unidades geomorfológicas da BHRL-MG**

Padrões de Relevo da BHRL	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentagem
Domínio de Morros e de Serras Baixas (R4b)	5,76	6,20%

Domínio Montanhoso (R4c)	87,24	93,70%
<b>Total</b>	93,00	100%

Fonte: Adaptado de CPRM (2010)

Também se inserem nessa unidade, de acordo com os autores Machado e Silva (2010), morros de topo tabular (característico das chapadas intensamente dissecadas) e de topos planos. Esse padrão de relevo apresenta sistema de drenagem principal com planícies aluviais restritas. Exibem amplitude de relevo que varia de 80 a 200 metros e inclinação das vertentes entre 15-35°.

Nesse padrão de relevo os autores Machado e Silva (2010) relatam ainda que há predomínio de processos de morfogênese (formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos), além da atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas), com ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Pode ocorrer geração de colúvio e subordinamente depósitos de talús nas baixas vertentes.

As Fotos 4 e 5 ilustram as características geomorfológicas da área, onde é possível reconhecer os tipos de morros, regiões mais altas e áreas de planícies fluviais na parte mais plana da bacia hidrográfica.

**Foto 4** - Relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage -MG



Fonte: Autora deste estudo, 2019

**Foto 5** - Padrões do Relevo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG



Fonte: Autora deste estudo, 2019

Logo, segundo o estudo de Ross e Fierz (2017)

Os levantamentos geológicos são básicos para o entendimento da relação relevo/solo/rocha, as informações climáticas, sobretudo as de chuvas (intensidade, volume, duração), também se prestam tanto para a análise das potencialidades, como para avaliação da fragilidade natural dos ambientes, a rugosidade topográfica do relevo (índices de dissecação) e declividade das vertentes, bem como, os levantamentos dos tipos de uso da terra, manejo dos solos para agricultura, tratados integradamente, possibilitam chegar a um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. (ROSS; FIERZ, 2017 p. 60)

No estudo realizado por Rodrigues (2004) foram levantados os principais geoambientes da BHRL, baseado nas características pedológicas e geomorfológicas e do uso e ocupação do solo, conforme a Tabela 8.

**Tabela 8** - Principais Geoambientes da BHRL-MG

Unidades geoambientais	Morfologia	Pedoambiente	Uso do solo	Riscos ambientais
Várzeas e planícies fluviais	Plano e suave	Gleissolos	Olerícolas	Agroquímicos, falta de mata ciliar
Várzeas e planícies fluviais	Plano e suave	Gleissolos	Pastagem	Pressão exercida pelo manejo do gado, produtos químicos usados no manejo do gado, interferência na dinâmica hidrológica

Encostas convexas e topos	Gradiente moderado a elevado/aplaínados	Latossolos Vermelho Amarelo com Horizonte A Húmico	Café	Incêndios antrópicos, desmatamentos, agroquímicos usados na produção cafeeira, poluição dos rios
Encostas convexas e topos	Gradiente moderado a forte/ondulados	Latossolos Vermelho Amarelo com Horizonte A Húmico	Pastagem	Pisoteio do gado, modificação na dinâmica hidrológica, erosão laminar, assoreamento dos rios
Encostas convexas e topos	Gradiente moderado a forte/ondulados	Latossolos Vermelho Amarelo com Horizonte A Húmico	Matas	Desmatamentos para empreendimentos agropecuários e incêndios de áreas adjacentes
Encostas ravinadas	Gradiente elevado	Nitossolos, cambissolos	Pastagem	Pisoteio do gado, modificação na dinâmica hidrológica, ravinamentos e assoreamento dos rios
Cristas, pontões e encostas ravinadas	Vertentes com gradiente forte	Neossolos, afloramentos	Café	Erosão laminar, remoção de sedimentos e agroquímicos
Cristas, pontões e encostas ravinadas	Vertentes com gradientes fortes	Neossolos, afloramentos	Pastagem	Incêndios antrópicos de áreas adjacentes, empreendimentos pecuários
Cristas, pontões e encostas ravinadas	Vertentes com gradientes fortes	Neossolos, afloramentos	Matas	Incêndios antrópicos de áreas adjacentes, desmatamentos para empreendimentos agropecuários
Terraços e rampas	Gradiente moderado a forte	Argissolos	Pastagem	Pisoteio do gado, queimadas

Fonte: Rodrigues (2004)

Em locais onde se encontra um relevo plano e suave há unidades geoambientais de várzeas e planícies fluviais, com a presença de Gleissolos; em locais de relevos com gradiente moderado a elevado/aplaínados ou a forte/ondulados, encontra-se geoambientes com encostas convexas e topos e há presença de Latossolos (RODRIGUES, 2004). Outro tipo de relevo encontrado na área são as vertentes com gradiente forte e possuindo um geoambiente de Cristas, pontões e encostas ravinadas, na presença dos solos Neossolos.

Já onde encontra-se um relevo de gradiente elevado, há a presença de solos novos e rasos como Nitossolos, Cambissolos. No relevo de gradiente moderado a forte, tem-se a

presença de Argissolos. Logo este levantamento elaborado por Rodrigues (2004) intensifica como os processos de morfogênese/pedogênese estão presentes na bacia hidrográfica de forma a propiciar a erosão laminar e o assoreamento dos rios devido à alta declividade e altimetria da região.

#### 4.4.2 Índice de dissecação do relevo

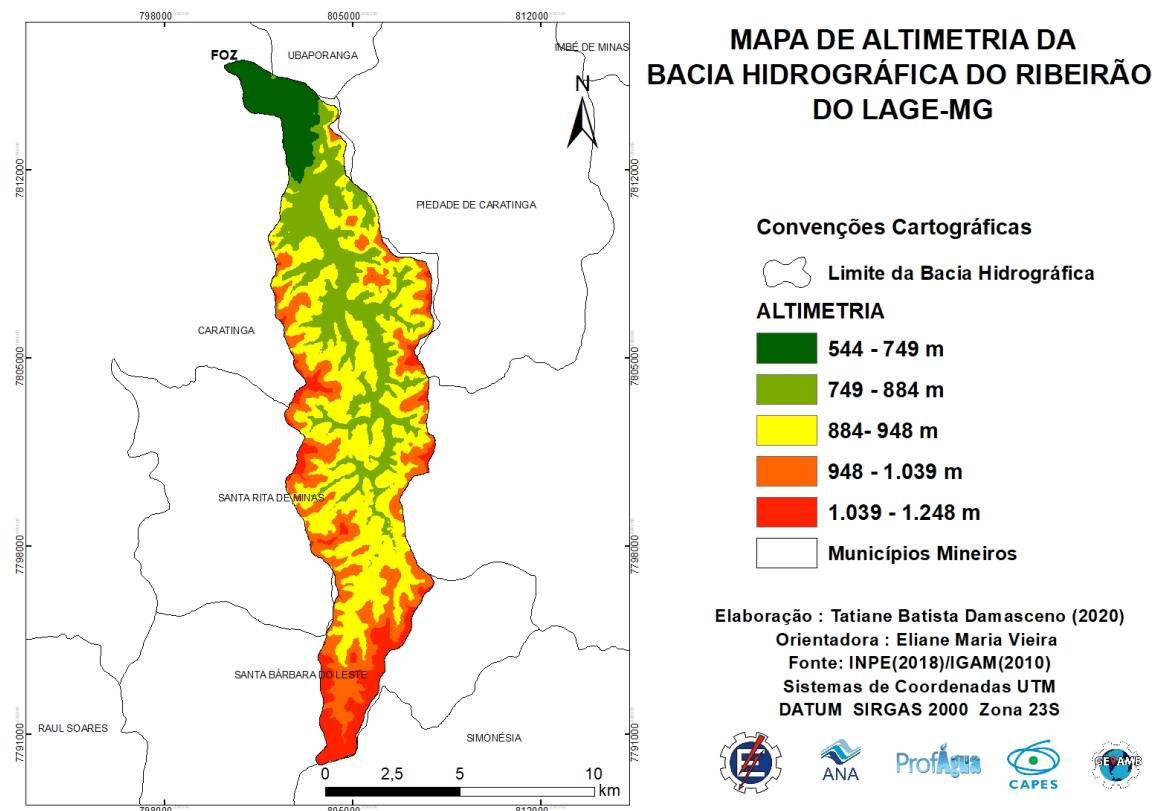
O mapa Geomorfológico acompanhado da análise genética é um dos produtos intermediários para construção do mapa de fragilidade ambiental, e um dos critérios para melhor compreensão do local em estudo é através do conhecimento de sua altimetria.

Segundo Crepani et al. (2001)

A amplitude altimétrica, que está relacionada com o aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial disponível para o “runoff”. Quanto maior a amplitude altimétrica maior é a energia potencial, pois as águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais altos do terreno adquirirão maior energia cinética no seu percurso em direção às partes mais baixas e, consequentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese (Crepani et al., 2001 p.76).

Assim, a figura 11 representa a altimetria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG que apresentou uma variação entre 544 a 1248 metros de altitude.

**Figura 11 - Altimetria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG**



As classes altimétricas mais baixas de 544 a 749 metros estão localizadas próximas ao exutório, já nas proximidades dos cursos d'água as altitudes variaram de 749 a 948 metros e a região mais alta da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage foi identificada próximo a nascente, no município de Santa Bárbara do Leste-MG, com altitudes variando de 1.039 a 1.248 metros.

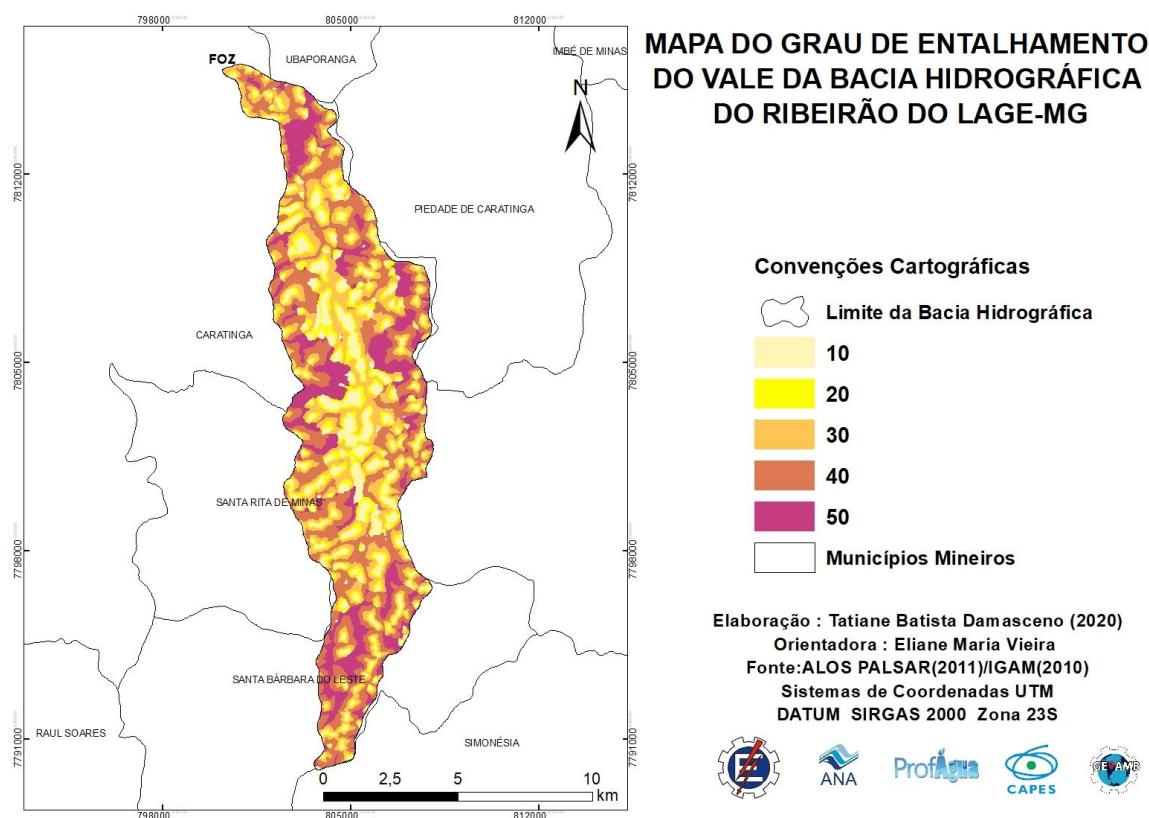
Foram elaborados também o perfil topográfico transversal ilustrando melhor a altimetria da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG em três partes: perfil topográfico região da nascente, onde mostrou as amplitudes altimétricas de 1.180 a 1.220 metros aproximadamente e tais perfis topográficos apresentam as características dos vales e interflúvios nesta região. O perfil topográfico na parte média da BHRL, próximo ao distrito de Santa Luzia de Caratinga-MG, apresentou altitudes variando a 1.080 a 980 metros. E na parte baixa da bacia hidrográfica, próxima a foz com altitudes variando em 640 a 940 metros.

Crepani et al. (2001) explicam que a intensidade da dissecação pela drenagem pode ser obtida a partir de medidas, realizadas nas cartas topográficas ou nas imagens de satélite, da amplitude dos interflúvios (distância entre canais de drenagem) ou da densidade de drenagem (número de canais/unidade de área), parâmetro este sendo inversamente proporcional ao primeiro.

Guimarães et.al. (2017) contextualizam o índice de dissecação do relevo como uma análise morfométrica que considera o grau de entalhamento do vale e dimensão interfluvial média elaborada por Ross (1992;1994) possuindo diversas aplicações, como segmentação do relevo, fornecimento de bases para o mapeamento geomorfológico, estudar a relação morfogênese - pedogênese e vulnerabilidade ambiental. O cálculo e mapeamento do índice de dissecação de forma analógica é extremamente dispendioso além de estar sujeito a erros humanos e a diferenças de interpretação.

Conforme a metodologia de Guimarães et al. (2017), foi realizado no primeiro momento o tratamento da imagem do MDE – Modelo Digital de Elevação no *ArcGis* e logo em seguida foram realizados os métodos para obter os mapas do grau de entalhamento do vale (Figura 12) e o mapa de dimensão interfluvial média da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage–MG (Figura 13).

**Figura 12 - Grau de entalhamento do vale da BHRL-MG**

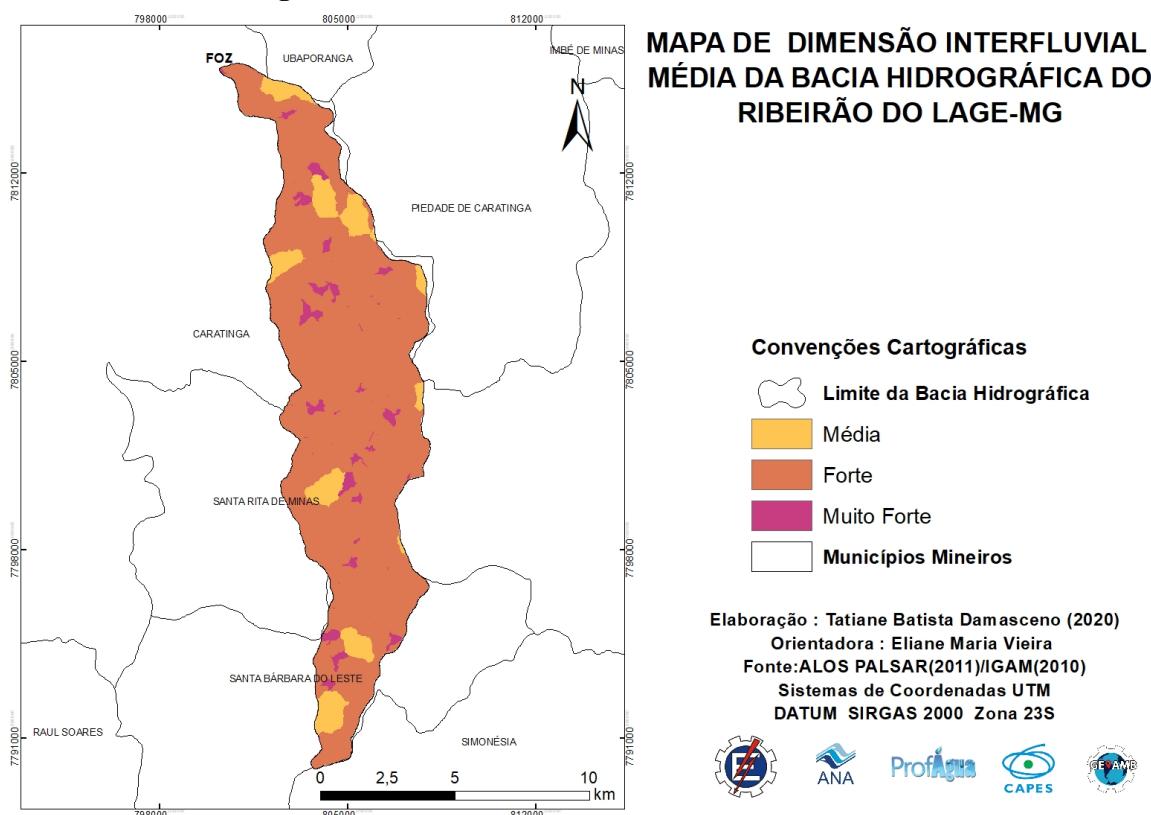


Em termos topográficos o grau de entalhamento dos vales é a distância vertical entre os pontos da superfície topográfica e sua projeção numa superfície de referência arbitrária, ajustada pelos pontos de altitudes máximas dentro de uma área de medição unitária (MUÑOZ; VALERIANO, 2009).

Na Figura 12, obteve-se resultados que variaram de 10 a 50, tais valores são equivalente a 1 a 5 segundo a metodologia empregada, sendo assim reclassificado para realizar a soma algébrica dos mapas no SIG. Nas áreas próximas aos cursos d'água na parte média da bacia localizado nos municípios de Santa Rita de Minas–MG e Caratinga–MG, foram identificados entalhamentos com índice muito fraco (<20 metros) a moderado (40 a 80 metros).

As áreas com maior altitude que são mais próximas a nascente, no município de Santa Bárbara do Leste–MG, o entalhamento muito forte (>160 metros) foi predominante, tem-se a presença de entalhamento forte (80 a 160 metros) e moderado (40 a 80 metros) em vários pontos. Foi possível perceber a presença de entalhamento fraco (20 a 40 metros) e muito fraco (<20 metros) nas proximidades dos cursos d'água.

**Figura 13 - Dimensão Interfluvial Média da BHRL-MG**



Na Figura 13, o mapa de dimensão interfluvial média apresentou o índice 4 (forte), onde a densidade de drenagem está entre 250 a 750 metros, no decorrer de toda a extensão da bacia hidrográfica. Alguns pontos isolados na área da BHRL apresentaram um índice moderado (3), que varia de 750 a 1750 metros estando presente em locais mais próximo a nascente e no exutório. Também foram encontradas menores dimensões de 0 a 250 metros

em pontos isolados, caracterizando locais de vales muito encaixados, com índice 5 (muito forte).

Em relação ao mapa da Figura 13, no qual a densidade de drenagem ou quantidade de rios e córregos, é inversamente proporcional à dimensão interfluvial média, a BHRL apresentou em sua área uma densidade de drenagem menor que 1.750 metros conforme a Matriz de Ross, sendo possível chegar nas classificações muito forte (5), forte (4) e moderado (3).

A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha, de modo que, quanto maior quantidade de água em superfície maior o número de canais de drenagem, maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial (runoff) e, portanto, uma maior capacidade erosiva ou de promover a morfogênese (CREPANI et al., 2001).

O uso automatizado para obtenção dos índices de dissecação do relevo a partir de análises espaciais apresentou resultados satisfatórios e representativos das características do relevo da área de estudo, sendo semelhante aos resultados encontrados nos estudos realizados por Lima (2018) na bacia hidrográfica do Rio Jacutinga-BA, nos municípios de Santa Terezinha-BA e Elísio Medrado-BA. Utilizando a metodologia de dissecação automática proposto por Ross (1994) o que a torna replicável para outras áreas principalmente pela praticidade dos procedimentos envolvidos.

Os resultados obtidos da soma algébrica dos índices de dimensão interfluvial média somados aos índices de entalhamento médio dos vales conforme a matriz de dissecação de Ross (1994) para a área de estudo estão apresentados na tabela 9.

**Tabela 9** - Soma algébrica dos índices de dimensão interfluvial média somados aos índices de entalhamento médio dos vales da BHRL-MG

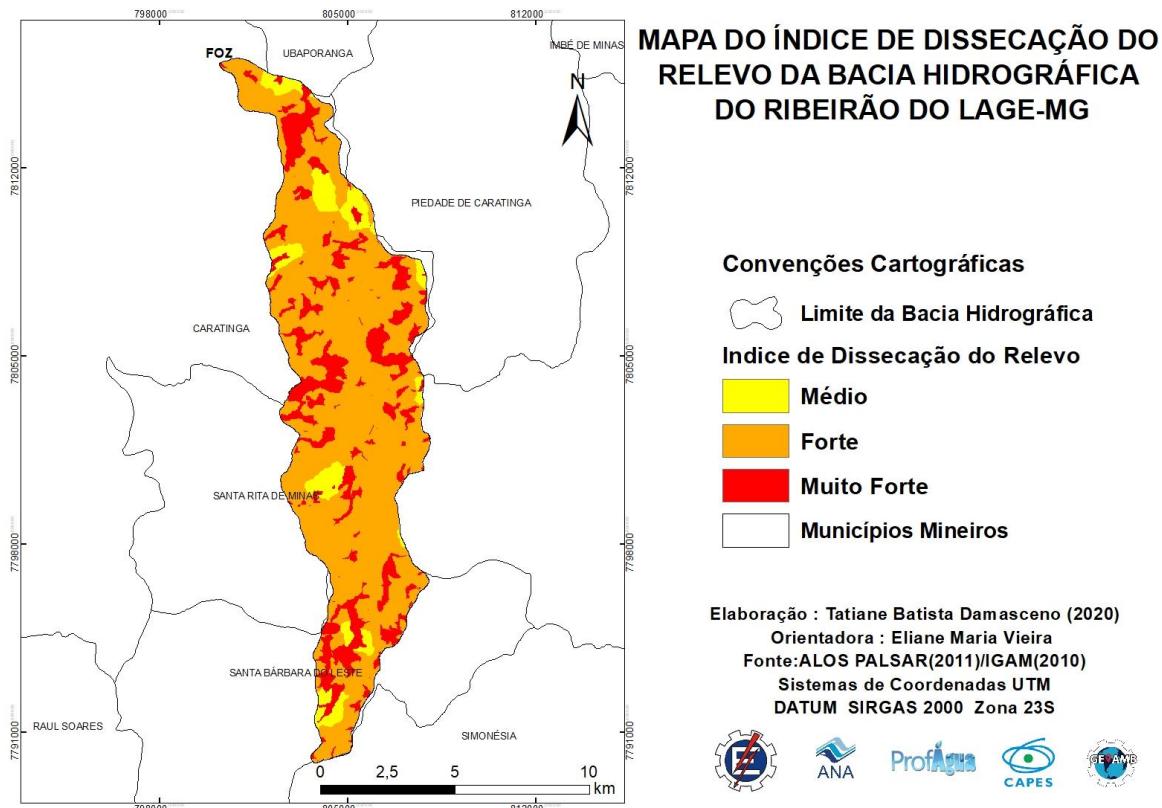
Classes	Resultados
Moderada (3)	13, 23, 33, 43
Forte (4)	14, 24, 34, 44
Muito Forte (5)	15, 25, 35, 45, 53, 54, 55

Fonte: Ross (1994)

Ao agrupar as classes com dissecação semelhante notou-se que a dissecação da BHRL apresenta vulnerabilidade de moderada (3) a muito forte (5), predominando o índice de dissecação do relevo Forte (4), conforme o mapa da Figura 14. Estes resultados indicam que

a geomorfologia local possui grandes amplitudes altimétricas e menores distâncias entre os rios.

**Figura 14 - Índice de dissecação do relevo da BHRL-MG**



De acordo com Guimarães et al. (2017) a dissecação elevada refere-se a áreas com predominância de vales encaixados e profundos e a menor dissecação geralmente está associada a áreas mais planas. Os mesmos resultados foram encontrados por Messias e Trovó (2013) que utilizaram como área de estudo um recorte da área de influência da hidrelétrica do funil, situada ao sul de Minas Gerais, entre as microrregiões Sul de Minas e Vale das Vertentes.

Campos (2018) analisou a fragilidade ambiental e a capacidade de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Caratinga-MG, a fim de determinar as áreas mais susceptíveis à degradação e que necessitam de intervenções prioritárias utilizando também a metodologia de Guimarães et al. (2017) obtendo como resultados graus de fragilidade da dissecação do relevo média, alta e muito alta para a Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga-MG.

O resultado obtido também apresenta-se em conformidade com o apresentado pelo Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Caratinga, unidade de planejamento onde está inserida a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG, sendo um dos principais afluentes do Rio Caratinga-MG, onde estão descritas as características da área com um

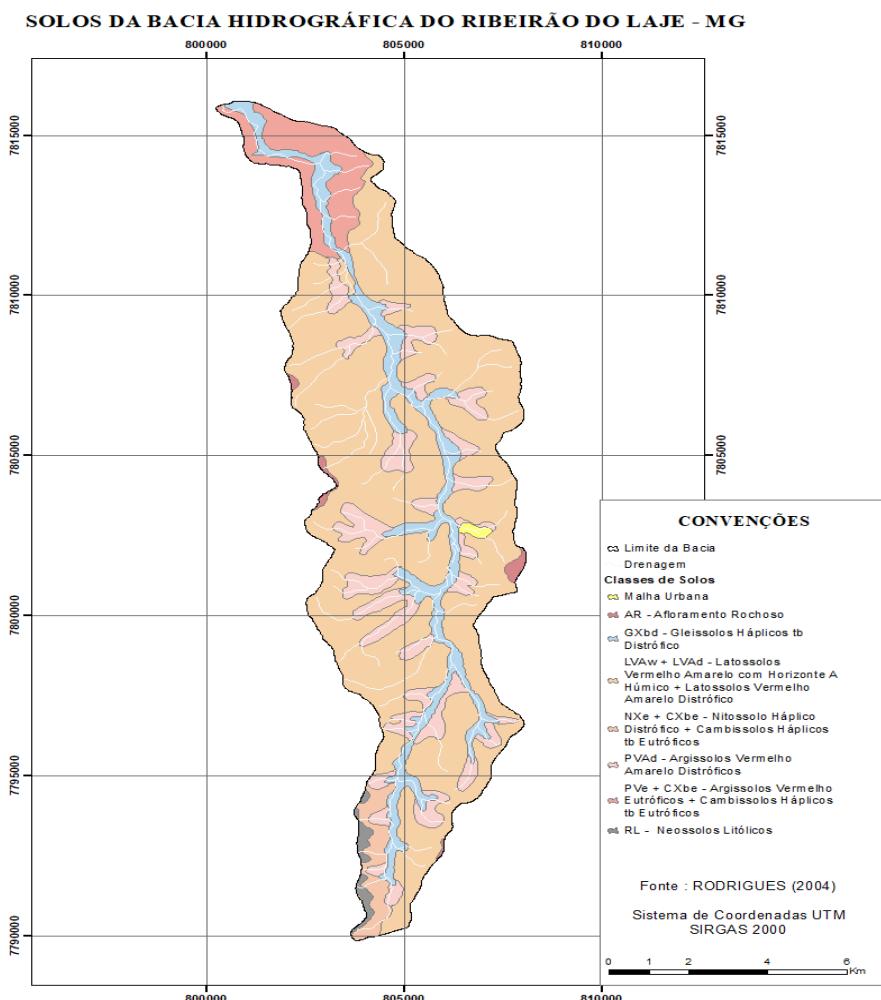
relevo intensamente dissecado, elevada produção de sedimentos, formação de sulcos e ravinas e a ocorrência de fenômenos de escorregamentos e movimentação de massas (IGAM, 2010).

Dessa maneira segundo Crepani et al. (2001), podemos entender que em unidades de paisagem natural que apresentam valores altos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação, prevalecem os processos morfogenéticos, enquanto que em situações de baixos valores para as características morfométricas prevalecem os processos pedogenéticos.

#### 4.4 Mapa Pedológico

A pedologia da BHRL foi identificada levando em consideração os estudos elaborados por Rodrigues (2004). A Figura 15 ilustra o mapa dos principais tipos de solos desta região onde está a bacia hidrográfica.

**Figura 15 - Tipos de solos da BHRL-MG**



Fonte: Rodrigues (2004)

Apresentando as classes de solos: Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos (PVAd), Argissolos Vermelho eutróficos (PVe), Cambissolo Háplico tb eutrófico (CXbe), Gleissolos háplicos tb distrófico (GXbd), Neossolos Litólicos (RL), Nitossolos háplicos distrófico (NXd), Latossolos Vermelho-Amarelo Ácrico (LVAw) e Latossolos Vermelho Amarelo distrófico (LVAd).

Com as modificações nas tipologias de solos os autores Ross e Fierz (2017), com o intuito de aperfeiçoar o método de fragilidade ambiental natural e antropizada de Ross (1994), classificou os índices de fragilidades diretamente relacionadas com relevo, litologia e clima, elementos motores da pedogênese e fatores determinantes das características físicas e químicas dos solos atualizando assim as classes pedológicas, de acordo com a Tabela 10.

**Tabela 10** - Vulnerabilidade ambiental para classes dos solos Ross (1994)

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
<b>(1) Muito Baixa</b>	Solos profundos, bem drenados Latossolos textura Argilo arenosa e Argilo porosa.
<b>(2) Baixa</b>	Solos profundos bem drenados Latossolos textura médio-argilosa.
<b>(3) Média</b>	Solos medianamente profundos, textura média arenosa Argissolos, Nitossolos.
<b>(4) Forte</b>	Solos Rasos com horizonte B pouco espesso de transição brusca Cambissolos.
<b>(5) Muito Forte</b>	Solos Rasos e pedregosos ou arenosos Neossolos Litólicos e Quartzarênicos, Solos Orgânicos e com alto hidromorfismo Gleissolos, Espodossolos e Tiomórficos.

Fonte: Adaptado de Ross e Fierz (2017)

Santos et al. (2018) caracterizam os Latossolos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. São também considerados solos profundos, com boas condições de drenagem, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), quase sempre ácidos.

Os latossolos originam-se de diversos materiais e tendem a se localizar, sobretudo, em amplas e antigas superfícies de erosão, sedimentos ou terraços fluviais antigos (SANTOS et al., 2018). Estes solos abrangem, aproximadamente, 53,50% do território mineiro (SILVA et al., 2019).

O autor Rodrigues (2004), estudou os principais tipos de solos da BHRL. Segundo ele, os Latossolos húmicos da região ocorrem como uma variação da classe dos Latossolos

Vermelho Amarelo, por apresentarem características físicas e químicas praticamente semelhantes, cuja diferença consiste no fato de apresentarem um horizonte A denominado de húmico que se caracteriza por ser muito espesso e pela sua cor escura em função do alto teor de matéria orgânica.

Rodrigues (2004) explica que estes solos apresentam geralmente o caráter álico (% Al > 50%), ou seja, elevadas concentrações de alumínio na capacidade de troca catiônica (CTC). Essas elevadas concentrações de alumínio são responsáveis, na região, pela preservação dos elevados teores de matéria orgânica nos horizontes superficiais desta classe de solo.

O autor relata que nos locais que predominam as classes dos Latossolos Vermelho Amarelo, se apresentaram os principais usos da monocultura do café, pastagens e vegetação natural. Nestas unidades os problemas ambientais foram associados ao desmatamento, uso de agrotóxicos e a compactação do solo favorecendo o escoamento superficial e acelerando a erosão, o que compromete a recarga dos aquíferos, alterando a dinâmica hídrica.

Também, os autores Silva et al. (2019) descreveram que aproximadamente 12% do estado de Minas Gerais são os compostos de Argissolos. Estes caracterizam-se por um aumento no teor de argila do horizonte A para o horizonte B. O horizonte B textural é o horizonte diagnóstico associado ao processo de acumulação de argila, vertical ou lateral, ou perda de argila dos horizontes superiores.

Ainda, Santos et al. (2018) reforçam que os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maior parte do horizonte B, e satisfazendo ainda aos seguintes requisitos: a) Horizonte plíntico, se presente, não satisfaz aos critérios para Plintossolos; e b) Horizonte glei, se presente, não satisfaz aos critérios para Gleissolos.

Como o uso preponderante nestes solos da BHRL é o manejo do gado, este altera também o fluxo de água em subsuperfície, dificultando a recarga de aquíferos. As áreas onde estes solos ocorrem apresentam uma suscetibilidade à erosão laminar, em cima de horizonte enriquecido com argila (RODRIGUES, 2004).

Contudo, a classe de solos Cambissolos "cambi" deriva do latim *cambiare*, que significa mudar, transformar representam aproximadamente e 18% do estado de Minas Gerais (SILVA et al., 2019). Os Cambissolos constituem, solos em transformação, sendo os horizontes B incipientes pertencentes aos cambissolos relativamente jovens, muito

relacionados ao material de origem ou a horizontes diagnósticos previamente existente e que, por processos morfogenéticos, foram erodidos (SANTOS et al., 2018).

Já a classe de Nitossolos, de acordo com Santos et al., (2018) são solos constituídos por material mineral, com 350 g.kg<sup>-1</sup> ou mais de argila, inclusive no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A. O horizonte B nítico apresenta argila de atividade baixa ou atividade alta conjugada com caráter alumínico, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

Os Nitossolos e os Cambissolos geralmente são rasos com horizonte A fraco e apresentam horizonte C inconsolidado, proveniente de material de origem granito-gnáissico, altamente suscetível à erosão quando exposto (RODRIGUES, 2004).

Os neossolos ocupam aproximadamente 11% da área total do estado de Minas Gerais (SILVA et al., 2019). Santos et al. (2018), explicam que os Neossolos são solos com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, apresentando horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos grosseiros (por exemplo, cascalheira de quartzo) com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões). Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico.

Os neossolos são pouco espessos, sem alterações expressivas em relação ao material de origem devido à resistência do material de origem ou associado a outros fatores de formação do solo que podem limitar a atuação da pedogênese (SANTOS et al., 2018). Este tipo de solo está presente dentro da área da BHRL, onde existe o uso do cultivo do café, podendo gerar problemas ambientais, como erosão acelerada nos períodos chuvosos (RODRIGUES, 2004).

Santos et al. (2018), explica que os gleissolos são solos formados principalmente a partir de sedimentos, estratificados ou não, e sujeitos a constante ou periódico excesso d'água, o que pode ocorrer em diversas situações. Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. Constituídos por material mineral, com horizonte glei dentro de 50 cm a partir da sua superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E ou H (hístico).

Assim, foi possível, com estes dados pesquisados, gerar os índices de vulnerabilidade do solo para a bacia hidrográfica Ribeirão do Lage-MG conforme a metodologia de Ross (1994) juntamente com as combinações de solos feitas por Rodrigues (2004) e com os estudos das adaptações feitas em Ross e Fierz (2017) relacionando as características das classes de solos encontrados nesta bacia hidrográfica aos índices de fragilidade que variaram de 1 a 5 conforme a Tabela 11.

**Tabela 11** - Índices de vulnerabilidade das classes de solos da BHRL-MG

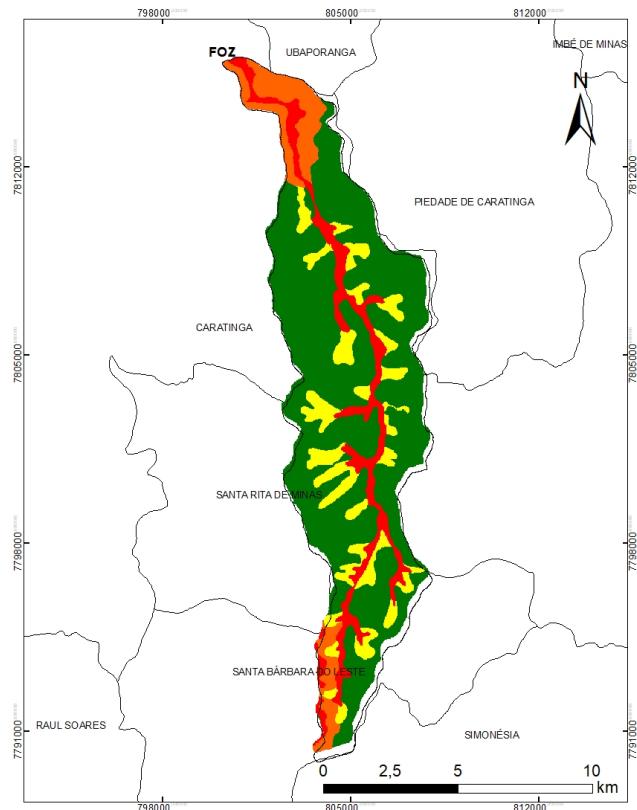
<b>Índices da Vulnerabilidade</b>	<b>Classes de Solo</b>
(1) Muito Fraco	Latossolos Vermelho-Amarelo Ácrico (LVAw), Latossolos Vermelho Amarelo distrófico (LVAd).
(3) Médio	Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos (PVAd).
(4) Forte	Cambissolo Háplico tb eutrófico (CXbe) + Nitossolos háplicos distrófico (NXd), Argissolos Vermelho eutróficos (PVe) + Cambissolo Háplico tb eutrófico (CXbe).
(5) Muito Forte	Gleissolos háplicos tb distrófico (GXbd), Neossolos Litólicos (RL).

Pode-se verificar que as classes de solos com índice de vulnerabilidade forte (4), conforme a Tabela 11, foram classificadas de acordo com o solo de maior vulnerabilidade, por isso a associação entre o Nitossolo (3) e Cambissolo (4), e entre Argissolo (3) mais Cambissolo (4), são fortes, pois nos dois casos os Cambissolos são considerados mais vulneráveis.

Além do mais, a classificação dos solos Gleissolos foi considerada como índice de vulnerabilidade muito forte (5) apesar de não ser um solo propenso à erosão, apresentam alta vulnerabilidade ambiental pois em relação à pedologia, são solos considerados jovens e pouco desenvolvidos e ocorrem em áreas de preservação permanente, próximas aos cursos d'água e nascentes.

O mapa da Figura 16 representa a conversão do mapa de solos para o formato matricial, tendo como base o valor do índice de cada polígono (classe de solos), conforme a Tabela 12, gerando os índices de vulnerabilidade ambiental do fator solo para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG.

**Figura 16 - Índice de Vulnerabilidade Ambiental dos Solos da BHRL-MG**



**MAPA DE VULNERABILIDADE DOS SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO LAGE-MG**

**Convenções Cartográficas**

	Limite da Bacia Hidrográfica
	Índice de Vulnerabilidade Ambiental
	Muito Fraco
	Médio
	Forte
	Muito Forte
	Municípios Mineiros

Elaboração : Tatiane Batista Damasceno (2020)

Orientadora : Eliane Maria Vieira

Fonte: ALOS PALSAR(2011)

Sistemas de Coordenadas UTM

DATUM SIRGAS 2000 Zona 23S



**Tabela 12 - Distribuição da área dos índices de vulnerabilidade ambiental do solo**

Valores da Vulnerabilidade	Classes de Solo	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
0	Afloramento Rochoso	0,9	0,96
(1) Muito Fraco	(LVAw) + (LVAd)	63,2	67,95
(3) Médio	(PVAd)	10,9	11,72
(4) Forte	(CXbe) + (NXd), (PVe) + (CXbe)	7,7	8,30
(5) Muito Forte	(GXbd), (RL)	10,2	10,96

Logo, mais de 67,95% da área da BHRL possui índice muito fraco (1) para a categoria Solos devido à presença maior de Latossolos que são solos mais profundos e bem drenados e mais resistentes à erosão. Os índices moderado (3) a forte (4) representaram em torno de 19,99% da área da bacia, sendo tipos de solos rasos e jovens, mais propícios a morfogênese e processos de erosão. Aproximadamente 9% são índices muito forte (5) representando as áreas de preservação permanente próximas aos cursos d'água e inundação os gleissolos e os neossolos litólico, solos pouco espessos sendo também favoráveis aos processos erosivos.

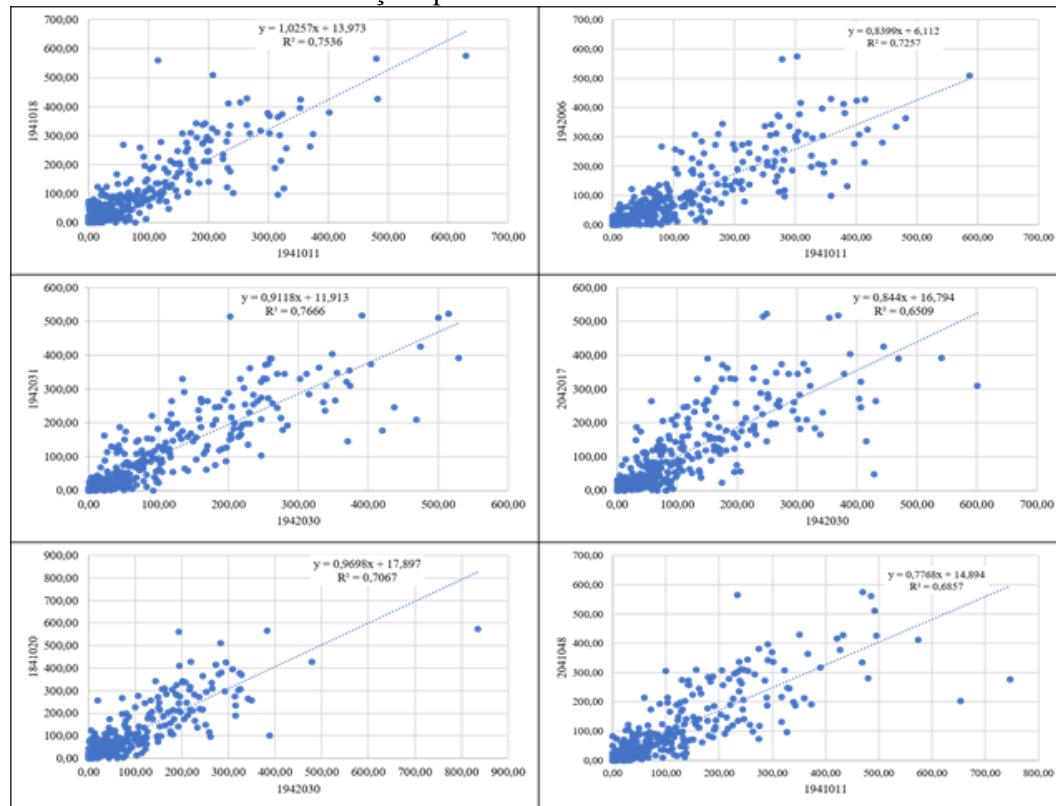
## 4.5 Mapa de erosividade da chuva

O Clima dos municípios onde está localizada a BHRL, segundo a classificação de Köppen é: Aw - Clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm (KÖPPEN, 1948).

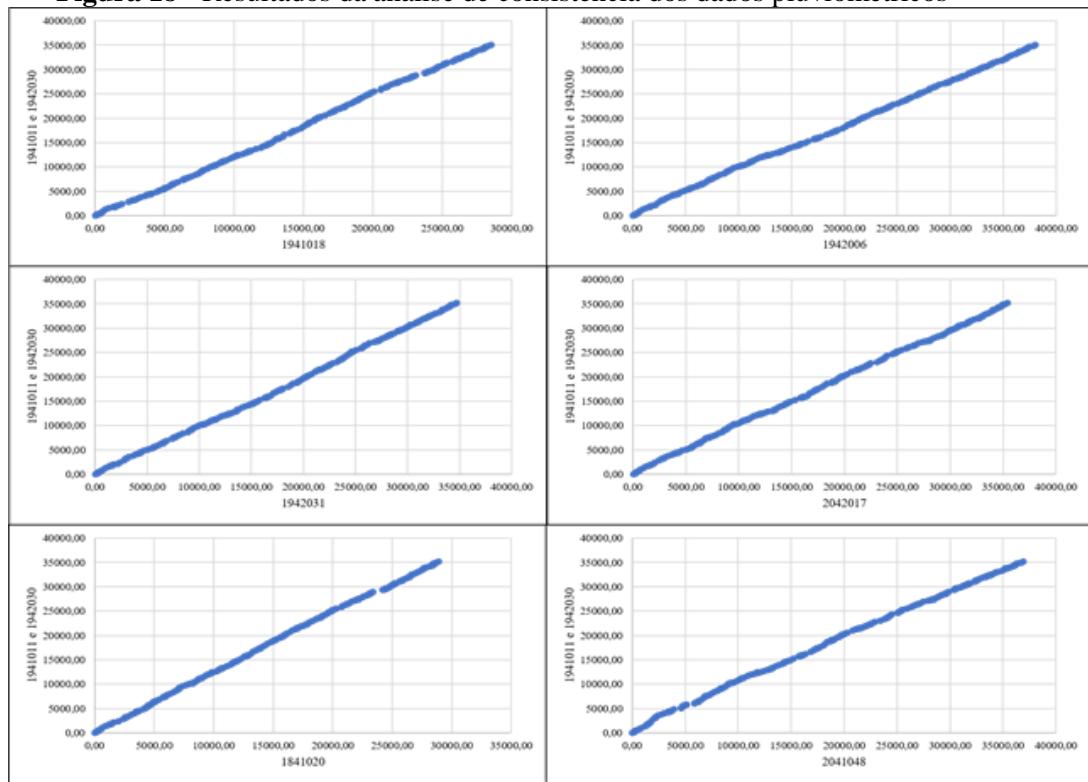
Assim para melhorar compreensão da dinâmica climática da BHRL obteve-se os resultados da interpolação dos dados pluviométricos, representado na Figura 17, considerando a regressão que apresentou  $R^2$  mais próximo de 01. Estes foram trabalhados por meio do preenchimento de falhas nas estações pluviométricas utilizadas.

Após o preenchimento de falhas, utilizou-se a análise de consistência dos dados pluviométricos por meio do método de análise dupla massa (ANA, 2012), mediante a construção da curva duplo acumulativa relacionando os totais mensais de cada estação com as médias acumuladas dos totais mensais dos postos 1941011 e 1942030 (Figura 18).

**Figura 17** - Resultados da interpolação dos dados pluviométricos para o preenchimento de falhas nas estações pluviométricas utilizadas



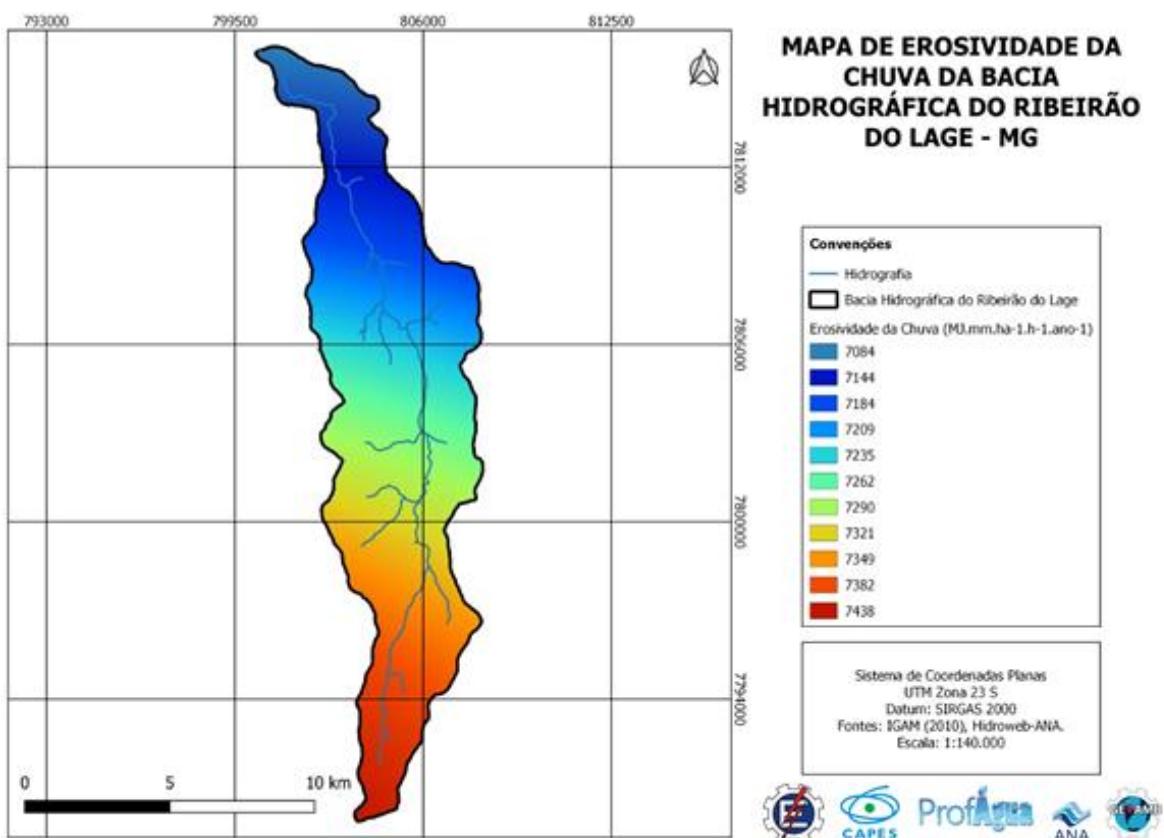
**Figura 18** - Resultados da análise de consistência dos dados pluviométricos



Posteriormente, na Figura 19 mostra-se os resultados obtidos de erosividade da chuva com faixas de valores entre  $7.438$  a  $7.084$   $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Caracterizando uma região, conforme conceitos de Gonçalves et al. (2011), com um potencial de energia cinética que propicia a desagregação do solo e o carregamento de partículas pelo escoamento superficial.

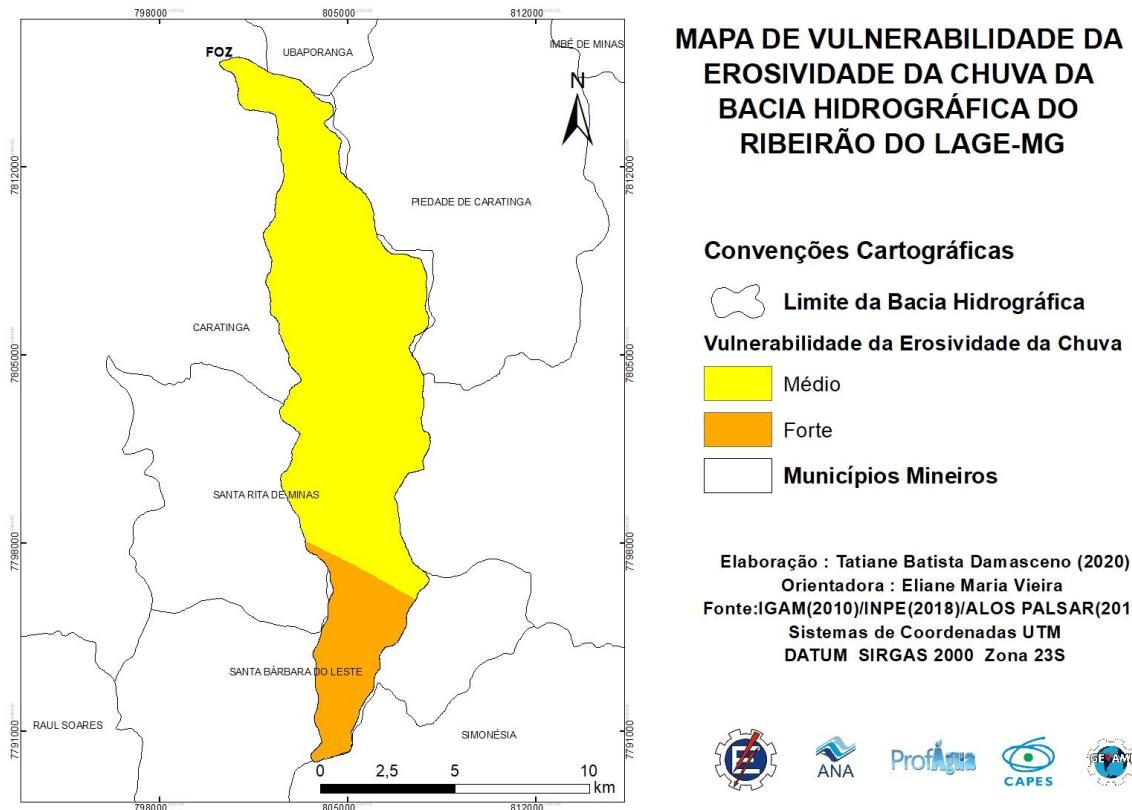
Observa-se também que a erosividade na região de cabeceira alcançou valores maiores e foi decrescendo em direção à foz onde as erosividades médias foram menores que  $7.357$   $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

**Figura 19** - Mapa de erosividade da chuva na BHRL-MG



Em seguida empregou a metodologia usada em Gonçalves et al. (2011), gerando a Tabela 13 com a classificação dos índices de vulnerabilidade ambiental da erosividade da chuva, onde a área da BHRL foi categorizada em índice de vulnerabilidade média (3) com 77,20 km<sup>2</sup> (83%) e índice de vulnerabilidade alta (forte) (4), com 15,80 km<sup>2</sup> (17%) da área da bacia hidrográfica (Figura 20).

**Figura 20 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da erosividade da chuva na BHRL-MG**



**Tabela 13 - Índices de Vulnerabilidade Ambiental da Erosividade da Chuva**

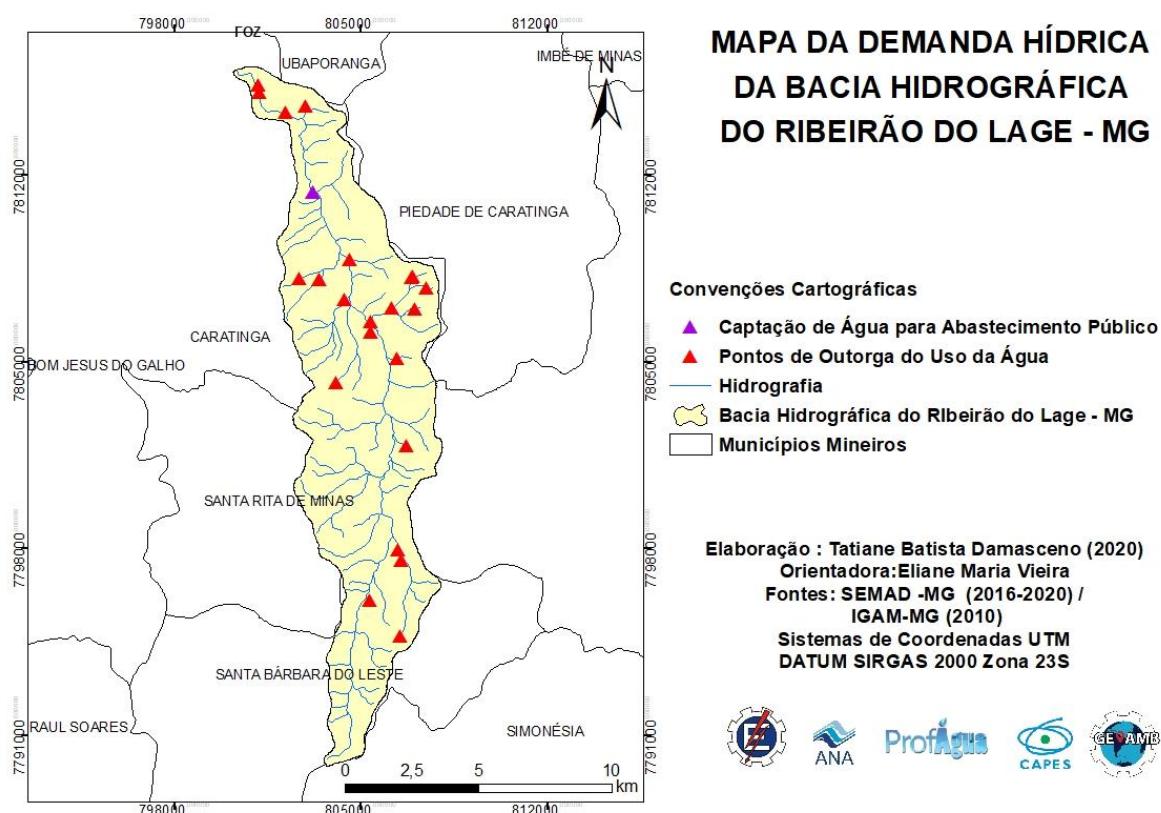
Índices de Vulnerabilidade	Erosividade da Chuva (R) MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
(1) Muito baixa	$R < 2.452$
(2) Baixa	$2.452 < R < 4.905$
(3) Média	$4.905 < R < 7.357$
(4) Forte	$7.357 < R < 9.810$
(5) Muito Alta	$R > 9.810$

#### 4.6 Mapa de demanda hídrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG

A Figura 21 demonstra a distribuição dos pontos de captação de água superficial na BHRL. A maioria dos pontos registrados são modalidades de outorgas com captações e derivações de águas superficiais, demonstrando a efetividade do instrumento legal de outorga que assegura aos usuários o direito de utilizar os recursos hídricos e os usos múltiplos nesta área.

Os principais usos dentro da BHRL são caracterizados como consuntivos, sendo eles: irrigação, dessedentação de animais, aquicultura, consumo agroindustrial e consumo humano e por meio do abastecimento de água pela companhia de abastecimento público da cidade de Caratinga-MG, conforme os órgãos ambientais competentes SEMAD-MG (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável) e o IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). Tais demandas têm implicações na diminuição da disponibilidade hídrica para jusante da bacia hidrográfica e entre outros fatores como alterações nas condições ambientais e de qualidade da água no decorrer do curso do Ribeirão do Lage.

**Figura 21 - Mapeamento da demanda hídrica da BHRL-MG**



Segundo IGAM (2015), são considerados passíveis de outorga todos os usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um curso de água, excetuando-se as captações, lançamentos e acumulações considerados insignificantes.

No Estado de Minas Gerais a Deliberação Normativa CERH-MG nº 09, de 16 de junho de 2004, define os usos considerados como insignificantes para os corpos de água de domínio do Estado que são dispensados de outorga, mas não de cadastro pelo IGAM de acordo com o Art.1º da DN CERH-MG nº 09/2004:

As captações e derivações de águas superficiais menores ou iguais a 1 litro/segundo são consideradas como usos insignificantes para as Unidades

de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPRGH) ou Circunscrições Hidrográficas do Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2004).

A fim de garantir os usos múltiplos nas bacias se faz necessário conhecer as demandas hídricas sendo elas consideradas outorgas ou usos insignificantes estes aspectos devem ser evidenciados nos planos de bacia para que sejam criadas estratégias de gestão dos recursos hídricos a médio e longo prazos estabelecendo ações de segurança hídrica local.

A Foto 6, ilustra o lugar onde é feito a captação de água no Ribeirão do Lage–MG pela COPASA, principal manancial que abastece a cidade de Caratinga–MG. Na Figura 21 observa-se que o ponto de captação está próximo a foz do Ribeirão do Lage e devido às poucas ações de conservação e preservação ambiental nesta bacia no período de 2014 a 2015 a crise hídrica atingiu esta área e algumas ações preventivas emergenciais como racionamento de água urbano e manejo na irrigação foram usados.

**Foto 6** - Captação de Água para Abastecimento Público na BHRL-MG



Fonte: Autora deste estudo, 2019

Com isso criou-se uma percepção alarmante nesta bacia, pois tanto a companhia de abastecimento de água quanto o comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Caratinga–MG, não se preveniram com ações para garantir a segurança hídrica da BHRL. Segundo ANA (2011), uma das ações dos comitês de bacias hidrográficas (CBH) é acompanhar a implementação do plano de bacias:

É dever do comitê, além de aprovar o plano de bacia, acompanhar sua implementação para garantir a efetivação das metas nele estabelecidas, bem como a realização dos programas nele priorizados. Para tanto, é necessária

a existência de mecanismos que possibilitem tais atividades. As agências de água e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos são alguns dos meios com que devem contar os comitês no acompanhamento e na implementação do plano de bacia (ANA, 2011 p. 28).

Assim se faz necessário o fortalecimento do CBH local para que sua atuação deixe de ser apenas uma presença de mobilização ou representação social e torne-se um instrumento capaz de atuar dentro da bacia hidrográfica no planejamento auxiliando na realização das ações propostas no Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos do Rio Caratinga (PARH Caratinga-MG) elaborado pela ECOPLAN em 2010, tais como: revisão das vazões referenciais, permitindo a realização de um novo balanço entre oferta e demanda, elevação da eficiência do uso da água na agricultura irrigada, projetos de possíveis locais de construção de barragens de acumulação ou regularização de vazões nas subbacias mais críticas, como a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG.

#### 4.6.1 Cálculo da razão de uso da BHRL

A demanda hídrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG conforme os registros de captação superficial de água dos órgãos ambientais estaduais, foram representados na Tabela 14 juntamente com suas finalidades.

**Tabela 14 - Vazões concedidas pelos órgãos Ambientais na BHRL-MG**

Ponto	Vazão (l/s)	Ano	Finalidades	Município (MG)
1	0.05	2016	Irrigação	Santa Bárbara do Leste
2	0.8	2016	Dessedentarão de animais	Caratinga
3	1.0	2016	Irrigação	Caratinga
4	0.25	2016	Aquicultura	Caratinga
5	1.0	2016	Consumo agroindustrial Irrigação	Caratinga
6	0.8	2016	Irrigação	Piedade de Caratinga
7	0.27	2017	Dessedentação de animais	Piedade de Caratinga
8	0.9	2017	Consumo agroindustrial Dessedentação de animais	Caratinga
9	0.23	2017	Consumo agroindustrial	Caratinga
10	0.23	2017	Dessedentação de animais	Santa Bárbara do Leste
11	0.27	2017	Irrigação	Piedade de Caratinga
12	0.22	2017	Dessedentação de animais	Caratinga
13	1.0	2017	Consumo humano	Caratinga
14	0.25	2017	Irrigação	Caratinga
15	0.99	2018	Consumo agroindustrial	Caratinga
16	1.0	2018	Irrigação	Caratinga
17	0.25	2018	Consumo humano Irrigação	Caratinga
18	0.9	2018	Consumo humano Dessedentação de animais	Caratinga
19	1.0	2018	Irrigação	Caratinga
20	0.25	2019	Irrigação	Santa Bárbara do Leste
21	1.0	2019	Irrigação	Caratinga
22	1.0	2019	Irrigação	Caratinga
23	0.27	2019	Irrigação	Caratinga
24	136,53 137,00 163,00	2017 2018 2019	Abastecimento Público	Caratinga

Fonte: SEMAD (2016 – 2018)/IGAM (2019/2020)

Realizou-se uma primeira estimativa da razão de uso levando em conta as demandas hídricas registradas no órgão ambiental e a vazão média de longo período obtida no Atlas Digital das Águas de Minas Gerais para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage de 1,250 L/s para o curso principal do rio.

Logo, obteve-se como resultado o valor de 35,6% do cálculo da razão de uso dos recursos hídricos nesta bacia hidrográfica considerada uma razão de uso média conforme Silva et al. (2011). Visando um melhor entendimento do uso na bacia, foi calculado também o índice de conflito para os tributários, para tanto foi necessário o cálculo da  $Q_{7,10}$  para o rio principal e para os tributários.

#### 4.6.2 Resultados da Vazões $Q_{7,10}$

Após a sobreposição, em ambiente SIG, dos limites das bacias em estudo sobre o mapa de “rendimento específico médio mensal: contribuições unitárias mínimas com 10 Anos de recorrência”, e no mapa de “tipologias regionais homogêneas” foi possível calcular conforme Sousa (1993), o rendimento específico da área e sua tipologia para calcular a  $Q_{10,7}$  e seu Fator de Proporção  $F_{10,7}$  (Equação 6) apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15** - Rendimento específico, tipologia e fator de proporção para a BHRL-MG

Variáveis	Resultados
$Rm_e$	3
Tipologia	211
$F_{10,7}$	0,8888073172

A obtenção da área de drenagem ( $Ad$ ) foi realizada por meio do cálculo do fluxo acumulado, logo, a área de drenagem da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG de cada ponto foi obtida multiplicando-se a área do pixel ( $156,25 \text{ m}^2$ ) pelo número de células vertentes.

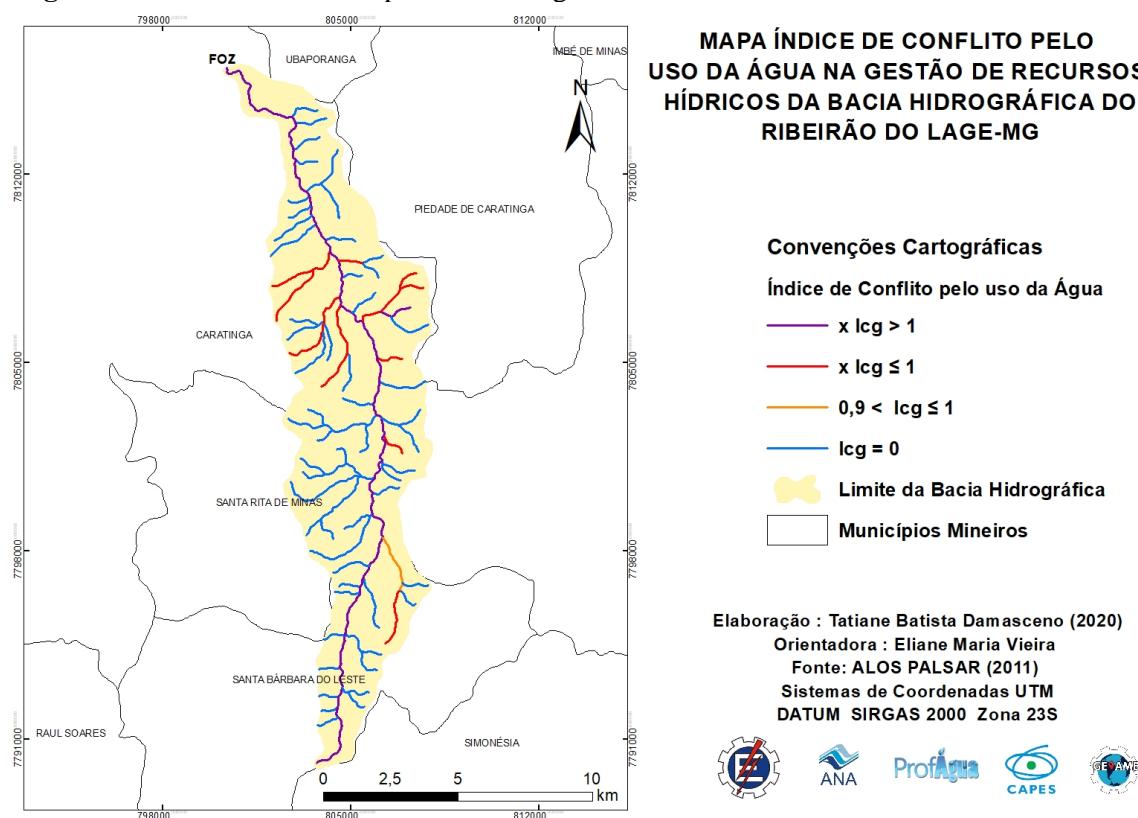
Assim a equação final da  $Q_{7,10}$  para o Ribeirão do Lage foi obtida no SIG em sua calculadora “*raster*” para o cálculo da vazão de interesse em função da área de drenagem. Em seguida identificou-se os valores da  $Q_{7,10}$  dos segmentos de rios onde estão localizados os pontos de captação das vazões outorgadas pelo órgão ambiental através da espacialização destes no mapa de demanda hídrica (Figura 21).

A identificação desses valores de vazão  $Q_{7,10}$  foram utilizados para determinar os índices de Conflito pelo uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos ( $I_{cg}$ ), elaborado por Moreira (2010).

#### 4.6.3 Índice de conflito pelo uso da água na gestão dos recursos hídricos

Os resultados do  $I_{cg}$  (Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão dos Recursos Hídricos) da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG foram representados na Figura 22 e sua classificação foi apresentado na Tabela 16.

**Figura 22 - Índice de Conflito pelo Uso da Água na Gestão de Recursos Hídricos da BHRL-MG**



**Tabela 16 - Classificação dos Segmentos da BHRL conforme o  $I_{cg}$**

Faixa de Valor	Cor	Nº de Segmentos	% em Relação à Bacia
$I_{cg} = 0$	Azul	61 <sup>1</sup>	81,3 %
$0,9 < I_{cg} \leq 1$	Laranja	1 <sup>1</sup>	1,3 %
$x I_{cg} \leq 1$	Roxo	12 <sup>1</sup>	16 %
$x I_{cg} > 1$	Vermelha	2 <sup>1,2</sup>	2,6 %
<b>TOTAL 76 segmentos</b>			

(1) Segmentos de rio como afluentes do rio principal (2) Segmentos do rio principal

Tais resultados mostram que 18,6% das vazões dos segmentos de rios com captação de águas superficiais registradas e concedidas pelo órgão ambiental superaram os limites da legislação em que exige 50% da  $Q_{7,10}$ , nesta região (vazão mínima de referência). Entretanto 1,3% dos segmentos, representados pela cor laranja, estão dentro dos limites exigidos pela legislação, localizados próximos aos municípios de Santa Bárbara do Leste-MG e Santa Rita de Minas-MG.

Os segmentos na cor azul, que representaram 81,33% dos trechos, não apresentaram outorgas ou que não possuem registros de usos de recursos hídricos junto ao órgão ambiental competente, porém podem haver captações sem o registro destas.

Assim, percebe-se a importância de implementar junto ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga-MG, onde se encontra a área da BHRL, e sua agência de bacia o instrumento de cadastros de usuários conforme a Lei 9433/1997 na gestão dos recursos hídricos.

Da mesma forma, os resultados encontrados por Moreira et al. (2012) do I<sub>cg</sub> da Bacia do Rio dos Sinos-MG, constata-se que a utilização dos recursos hídricos sem o seu respectivo documento legal inviabiliza o cálculo da real demanda de água, fato que somente pode ser contornado com a realização de um amplo cadastro de usuários de água da bacia.

Do mesmo modo Rios (2014), enfatiza a relevância dos instrumentos de planejamento na gestão dos recursos hídricos:

A governança das águas é inicialmente estabelecida na composição do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, composto pelos Comitês de Bacias e outras instituições. Os comitês possuem a capacidade de integrar a sociedade civil, principalmente no que tange a aprovação, e acompanhamento de execução dos Planos de Recursos Hídricos da bacia, este instrumento por sua vez é fundamental no planejamento, visando fundamentar e orientar a implementação da Política de Recursos Hídricos, e o gerenciamento dos mesmos (RIOS, 2014 p. 67).

Outro ponto importante a ser ressaltado é que as vazões de referência, por sua natureza estatística, já representam uma probabilidade de ocorrência, ou seja, um risco de desabastecimento associado (MELO, 2016).

Santos e Cunha (2013) e Melo (2016) relataram que a vazão  $Q_{7,10}$ , apesar de mais restritiva do ponto de vista de vazão disponível para o uso, é a vazão de referência que representa menor risco de desabastecimento em relação à  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , que, respectivamente 10% e 5% do tempo ocorrem vazões numericamente inferiores às mesmas.

Moreira et al. (2012) utilizam-se da seguinte argumentação, de que em regiões com baixa ocupação e uso do solo, desenvolvimento industrial restrito e baixa densidade

demográfica, o gerenciamento, controle e monitoramento do uso das águas exige menores cuidados. Porém, à medida que o uso se expande os conflitos começam a surgir, necessitando de uma maior atenção.

Desta forma, Melo (2016), mostra a fixação da vazão de referência, do ponto de vista da quantidade da água disponível, deve ponderar o risco associado ao desabastecimento, mas também o atendimento às demandas na bacia de maneira racional através da segurança hídrica. Além disso, a vazão remanescente no corpo de água determina a manutenção dos processos ecológicos e reduz o impacto de lançamento de cargas poluidoras.

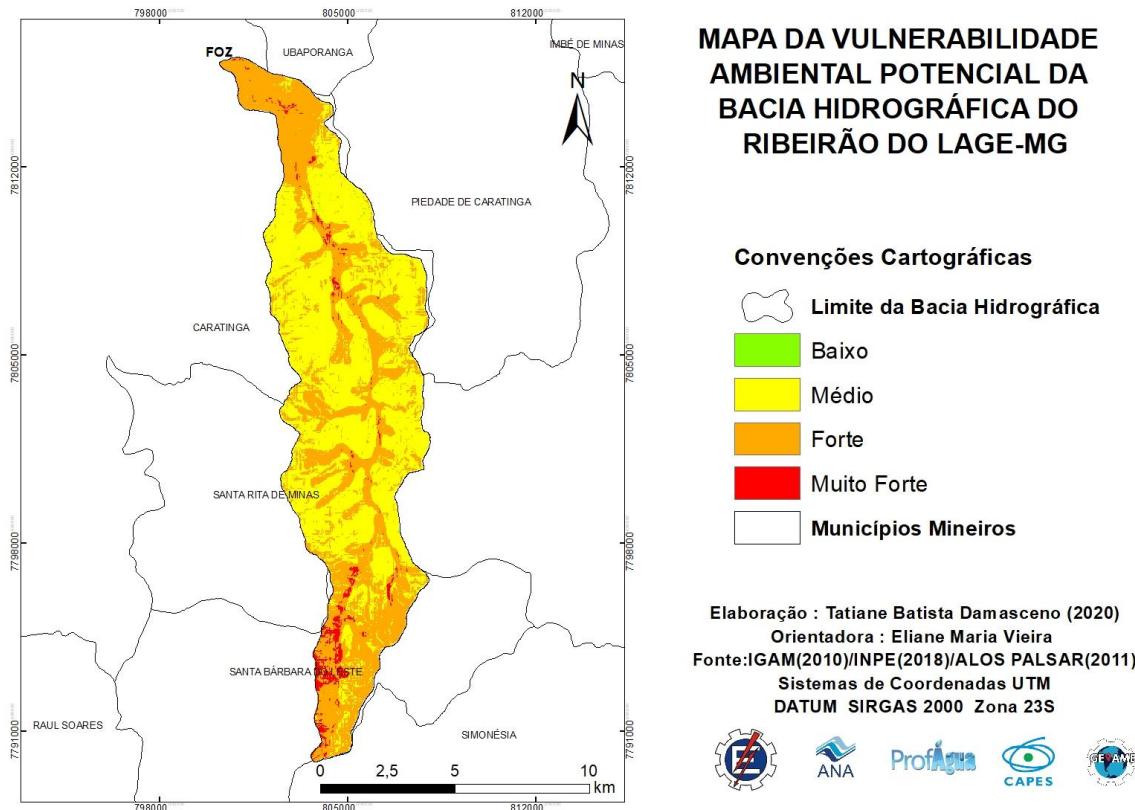
Moreira (2012) define o  $I_{cg}$  visa fornecer subsídios às ações afetas à gestão dos recursos hídricos, nas quais se busca compatibilizar o uso, o controle e a proteção desse recurso ambiental, disciplinando as respectivas intervenções antrópicas de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável.

#### **4.7 Mapa de vulnerabilidade ambiental potencial e ambiental emergente da BHRL**

A análise algébrica de combinação em ambiente SIG das classes temáticas de pedologia, declividade, dissecação do relevo, erosividade da chuva e o uso e ocupação do solo resultou em uma ecodinâmica da paisagem bastante alterada por fatores antropogênicos.

Estes resultados são representados na Figura 23, com o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Potencial, onde as categorias de índices de vulnerabilidade Médio (3) e Forte (4) predominaram na bacia, apresentando respectivamente 54,51% e 42,79% da área total mapeada (Tabela 17).

**Figura 23 - Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Potencial da BHRL-MG**



**Tabela 17 - Área referente ao Índice de Vulnerabilidade Ambiental Potencial da BHRL-MG**

Índice de Vulnerabilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
(2) Baixo	0,1	0,1
(3) Médio	50,7	54,5
(4) Forte	39,8	42,8
(5) Muito Forte	2,4	2,6

Os locais com vulnerabilidade ambiental média (3) são regiões onde estão localizados os solos mais profundos e resistentes como os Latossolos, porém possuem locais com declividades acima de 8%, índice de dissecação do relevo forte e uma alta erosividade da chuva. Conforme França et al. (2017) estes elementos contribuem para a dinâmica e morfogênese da paisagem com o aparecimento de sulcos, ravinas, assoreamento dos corpos hídricos, voçorocas dentre outras problemáticas consideradas na vulnerabilidade ambiental.

As áreas de vulnerabilidade ambiental forte (4) se concentram em locais próximos às áreas de drenagem e onde existem a presença de solos mais rasos e jovens como os Nitossolos, Cambissolos, Gleissolos e Neossolos. Estes tipos de solos em regiões com

declividade acima de 7% são mais frágeis e com potencial erosivo tanto do ponto de vista pedogenético como em termos de recursos hídricos (NASCIMENTO et al. 2010; CRUZ et al. 2010).

As classes de vulnerabilidade fraca (2) e muito forte (5) estão dispostas em porções muito pequenas ao longo da bacia correspondendo nesta ordem 0,1% e 2,58%. Os poucos locais com vulnerabilidade fraca possuem menor altimetria, erosividade da chuva e mais vegetação, já os lugares com vulnerabilidade muito forte estão principalmente localizados próximo a nascente, onde há uma declividade alta e suscetível a erosão.

Nesse sentido, Cruz et al. (2010) afirmam em seu estudo de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Glória–MG, que os solos representam diferentes potenciais degradantes do ambiente, atuando de forma agravada quando mal manejados, e por isso devem entrar também nesse quadro de análise ambiental.

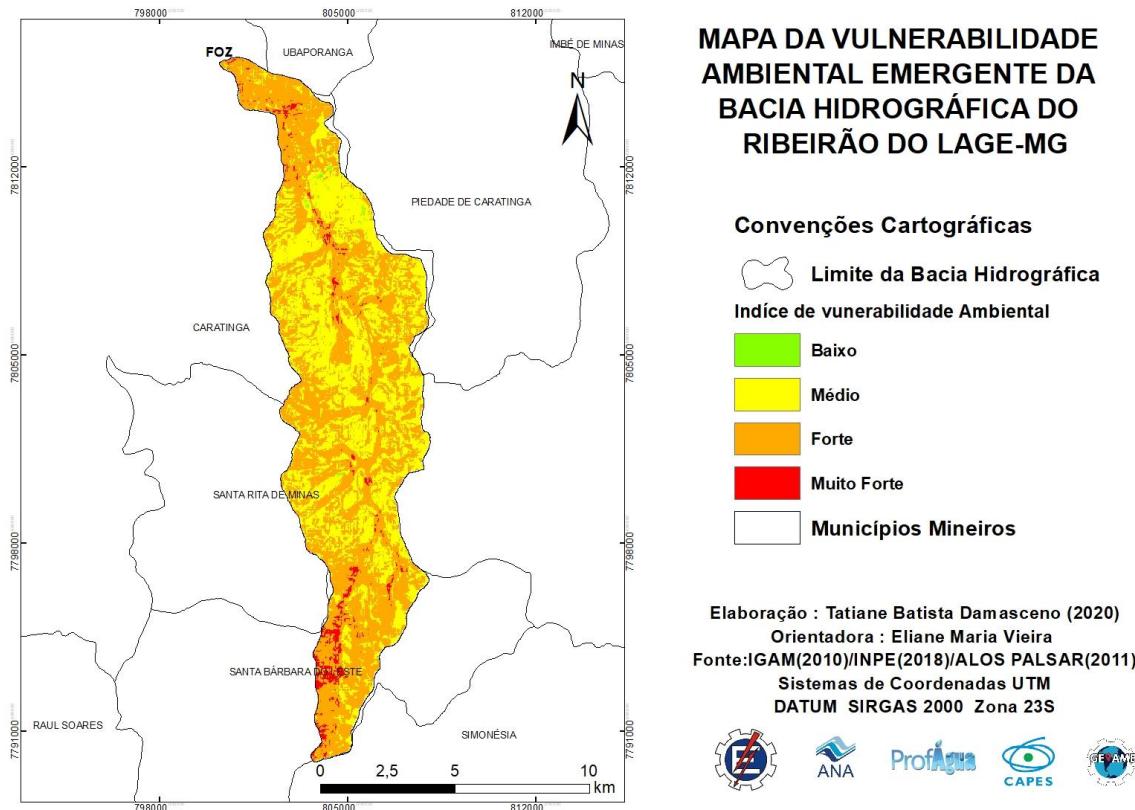
Portanto, comprehende-se que a dinâmica natural dessa bacia possui uma grande tendência a degradação ambiental, sendo o fator relevante na região da BHRL o que teve grande representatividade no comprometimento dessa alta vulnerabilidade ambiental potencial.

Assim, o planejamento ambiental territorial dessas áreas através de manejo adequado dos solos com sistemas que possibilitem a conservação destes locais, seja com o plantio de espécies nativas para a conservação das áreas de matas ciliares e nascentes ou com práticas agrícolas mais sustentáveis para a diminuição do escoamento superficial ao longo do Ribeirão do Lage–MG se faz necessário.

Na Figura 24 apresenta o mapa de vulnerabilidade ambiental emergente da BHRL, onde a categoria do uso e ocupação do solo foi somado ao mapa de vulnerabilidade potencial natural da região (VAP). Assim as categorias de índices de vulnerabilidade Médio (3) e Forte (4) também predominaram na bacia apresentando respectivamente 40 % e 56,88 % da área total mapeada (Tabela 18).

As áreas com os índices de vulnerabilidade ambiental emergente fraca (2) e muito forte (5) tiveram um pequeno aumento percentual, correspondendo nesta ordem 0,32 % e 2,68% em relação ao mapa VAP coincidindo também os locais onde eles se apresentaram.

**Figura 24 - Mapa de vulnerabilidade emergente da BHRL-MG**



**Tabela 18 - Área referente ao Índice de Vulnerabilidade Ambiental Emergente da BHRL-MG**

Índice de Vulnerabilidade	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
(2) Baixo	0,3	0,32
(3) Médio	37,2	40,0
(4) Forte	52,9	56,88
(5) Muito Forte	2,5	2,68

Pela comparação entre os mapas vulnerabilidade ambiental potencial (VAP) e o mapa de vulnerabilidade ambiental emergente (VAE) observa-se que áreas que apresentaram vulnerabilidade média no VAP, quando considerado a ação antropogênica de uso e ocupação do solo (VAE) alteram-se para classe de índice vulnerabilidade forte (4), entorno de 14% a mais da área do mapa de VAP, indicando a necessidade de se considerar a vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica não apenas pelo mapeamento de fragilidade natural, mas também pelas intervenções antrópicas na mudança da paisagem e aumento dos processos de degradação ambiental.

Os autores Ross (2012) e Freitas et al. (2012), confirmam em seus estudos que usos diversificados do solo propiciam diferentes graus de vulnerabilidade em função do manejo e da proteção exercida pela vegetação e são determinantes na aceleração dos processos erosivos.

No mapeamento da fragilidade ambiental potencial e emergente elaborado por França et al. (2017) na área municipal do núcleo de desertificação de Gilbués-PI, também concluíram que os resultados obtidos foram potencializados quando correlacionados aos parâmetros que geraram a fragilidade emergente, considerando-se principalmente a ação antropogênica.

Pode-se perceber que a vulnerabilidade emergente da BHRL demonstra uma situação mais grave sob o ponto de vista de conservação de solo do que apresentado para a vulnerabilidade potencial onde os cultivos sem práticas conservacionistas como a cafeicultura e pastagem são as classes que mais contribuem para a susceptibilidade da bacia hidrográfica.

Campos (2018) relata que a obtenção deste tipo de informação é de suma importância no planejamento ambiental, uma vez que possibilitará maior suporte aos gestores na identificação de áreas e usos que necessitam de intervenção prioritária, subsidiando programas de gestão ambiental e o direcionamento adequado dos recursos disponíveis.

Assim, Campos et al. (2010) salientam que várias práticas devem ser adotadas como: cuidados no preparo do solo, utilização de gramíneas que apresentam alta densidade, controle de sulcos e voçorocas, conservação de florestas nativas, escolha de espécies de reflorestação conforme características climáticas e pedológicas locais, plantio em contorno, replantio em locais com falhas na vegetação arbórea e corte sistemático.

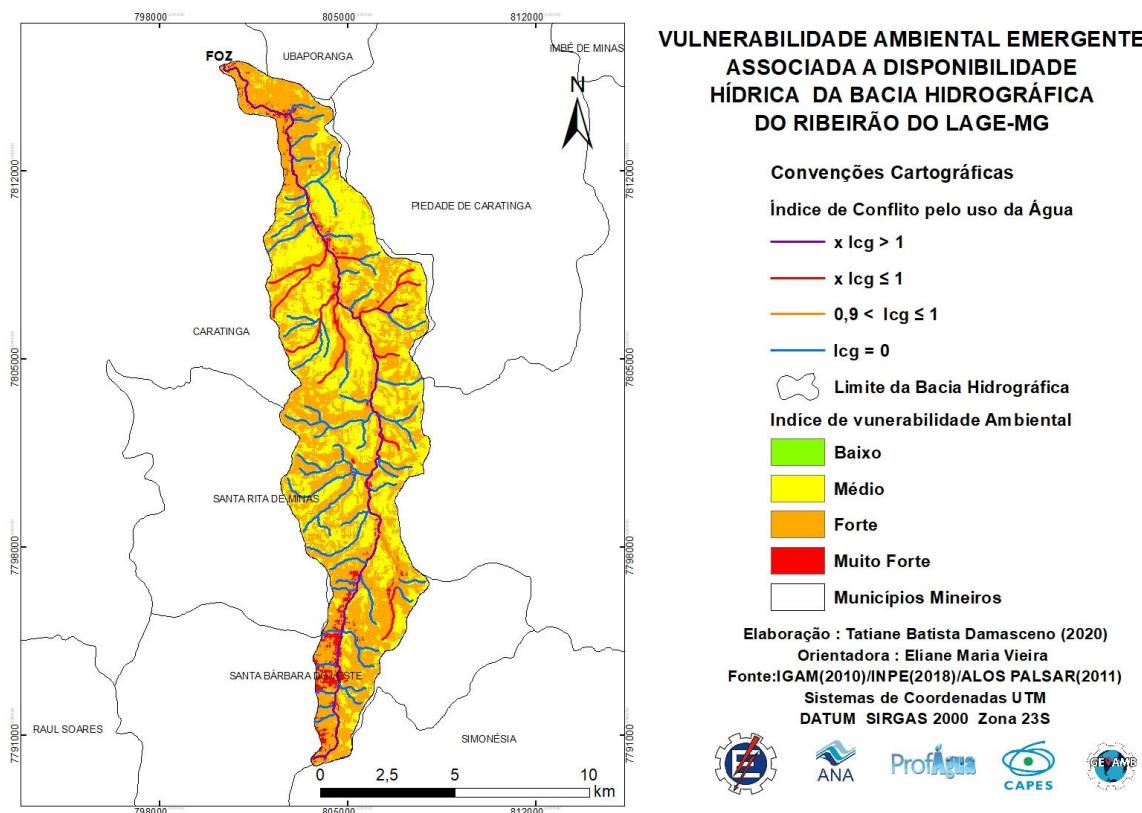
Campos (2018), também ressalta que podem ser utilizadas de forma integrada na determinação de áreas de intervenção por parte dos tomadores de decisão políticas de restauração ambiental das áreas de alta fragilidade e a utilização de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), como ferramenta de incentivo à adesão de produtores rurais aos programas de conservação.

E em situações de escassez de recursos deve-se priorizar as ações em áreas mais vulneráveis na bacia, principalmente em locais onde o índice de conflito já se encontra elevado de forma a otimizar as ações, tais regiões encontram-se demonstradas no produto final descrito a seguir.

## 5 PRODUTO FINAL

Com os resultados obtidos do mapa de vulnerabilidade ambiental emergente associado ao índice de conflito na gestão de recursos hídricos foi possível gerar o produto final deste estudo, conforme Figura 25.

**Figura 25** - Mapa da vulnerabilidade ambiental emergente associada a disponibilidade hídrica da BHRL-MG



Assim sendo, verifica-se espacialmente que os segmentos de rio com vazão outorgada superior à vazão mínima de referência e os demais segmentos se encontram em áreas com índice de vulnerabilidade ambiental emergente forte (4) visto que são áreas de matas ciliares, nascentes e com o tipo de solos mais rasos, contribuindo para assoreamentos devido às altas declividades do terreno da BHRL.

Os processos de morfogênese e pedogênese são determinantes na vulnerabilidade, devido à alta declividade e altimetria da região presentes na bacia hidrográfica envolvendo a vulnerabilidade ambiental potencial, visto que apresentaram altos índices de fragilidade da declividade propiciando maiores escoamentos superficiais, arraste de sedimentos até o leito

do Ribeirão do Lage, podendo acarretar assoreamentos e também modificações na qualidade e quantidade de água disponível.

Além disso, os resultados obtidos de erosividade da chuva comprovaram que a BHRL possui um potencial de energia cinética que propicia a desagregação do solo e o carregamento de partículas pelo escoamento superficial, tal fator deve direcionar o olhar do plano de manejo para a manutenção da cobertura do solo nos locais de vulnerabilidade ambiental emergente forte da bacia hidrográfica

A ocupação antrópica dessas áreas rurais já se encontram consolidadas seja por pastagem, cafeicultura e até mesmo pelo cultivo de hortaliças que necessitam de serem irrigadas nos períodos de estiagem. Com isso, verifica-se que há uma demanda pela produção de água como insumo para atendimento dos usos múltiplos por isto os valores do  $I_{cg}$  se apresentaram superiores a vazão mínima de referência adotada pelo estado de Minas Gerais recomenda-se que seja feito um processo de recuperação de nascentes e mata ciliares para melhorar a qualidade e quantidade das águas nesta bacia hidrográfica.

Acrescenta-se ainda que o aumento da demandas hídricas para o setor produtivo agrícola na área da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage–MG e o seu uso para atender a demanda do abastecimento público da cidade de Caratinga–MG revelam a pouca articulação na gestão das águas dos setores institucionais atuantes gerando conflitos no uso dos recursos hídricos deste afluente da Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga–MG.

Conforme Santos Júnior e Oliveira (2015) os recursos hídricos são vulneráveis às maneiras que os demais recursos naturais são explorados, em particular o solo, com alta sensibilidade a flutuações climáticas, podendo vir a ser impactado por ações antrópicas e se faz necessária ações que busquem garantir a manutenção dos recursos hídricos, recomenda-se que nas propriedades rurais com maior vulnerabilidade ambiental e mais declivosas, sejam feitos estudos sobre a viabilidade de implementação de barraginhas e caixas de contenção como medida auxiliar do controle de processos erosivos, uma vez que, estas estruturas retém a água das enxurradas, evitando processos erosivos e reduzindo o carreamento de sedimentos para os recursos hídricos. Além disso, as Barraginhas permitem que a água da chuva se infiltre no solo recarregando o lençol freático.

Contudo a pedologia da região é um fator potencial favorável devido à presença maior de Latossolos que são solos mais profundos, bem drenados e mais resistentes à erosão. Assim se faz necessário que sejam elaboradas ações junto ao Plano de Bacia melhorando estrategicamente o gerenciamento de recursos hídricos local possibilitando o

desenvolvimento da agricultura com menor perda de custos para o produtor rural e maior preservação com ações de recuperação de áreas degradadas e práticas agrícolas mais conservacionistas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Logo, conclui-se que há uma demanda pela produção de água como insumo para atendimento dos usos múltiplos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage-MG. Além disso, todos os segmentos de rio juntamente com os que apresentaram vazão outorgada superior à vazão mínima de referência, conforme os resultados gerados do Índice de Conflito na Gestão de Recursos Hídricos, se encontram em áreas com índice de vulnerabilidade ambiental emergente forte (4).

Portanto a disponibilidade hídrica do Ribeirão Lage já se apresenta comprometida devido aos fatores de vulnerabilidade ambiental que envolvem as condições de uso e ocupação do solo por ser uma bacia tipicamente rural, com forte presença da cafeicultura e pecuária que já ocupam as áreas de recargas hídricas, nascentes e matas ciliares, aliados ainda as característica do relevo local com altas declividades susceptíveis aos processos erosivos.

Neste contexto, é necessário uma maior articulação entre os comitês de bacias hidrográficas e o poder público, bem como a população diretamente envolvida: os produtores rurais e associações para que haja negociação e construção de políticas públicas de intermediação entre agentes públicos, privados e sociedade civil criando um gerenciamento dos recursos hídricos coerente com a gestão ambiental territorial local, possibilitando o desenvolvimento sustentável na garantia dos usos múltiplos de água no Ribeirão do Lage.

## REFERÊNCIAS

ABUD, E. A.; LANI, J. L.; ARAÚJO, E. A.; AMARAL, E. F.; BARDALES, N. G.; FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização morfométrica das sub-bacias no município de Xapuri: subsídios à gestão territorial na Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 2, p. 431-441, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 23 out. 2019.

AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850–860, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216941400136X>>. Acesso em: 06 out. 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Erosão Hídrica. Brasília**: ANA. Brasília-DF. s.d.. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br>>. Acesso em: 04 set. 2020

ANA – Agência Nacional de Águas. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Brasília: ANA, 2020. Brasília-DF. 112 p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br>>. Acesso em: 29 maio 2020.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Plano Nacional de Segurança Hídrica. Brasília**: ANA. Brasília-DF. 2019 <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 29 maio 2020.

ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura **dos Recursos Hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno**. Brasília: ANA. Brasília-DF. 2017. 169p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 5 nov. 2019.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Orientações para consistência de dados pluviométricos**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília-DF. 2012.21 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br>>. Acesso em: 16 mai. 2020.

ANA – Agência Nacional de Águas. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** / Brasília: SAG, Brasília -DF. 2011. 66p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br>>. Acesso em: 5 nov 2019.

ARAUJO, A.N.; PRATES, W.P. Modelagem matemático-espacial na identificação de fragilidades ambientais da microbacia do Rio Jarucu, município de Brasil Novo – PA. **InterEspaço**, Grajaú/MA.v.4, n.12, 2018. p. 207-226.

BICUDO, C.E. de M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. **Águas do Brasil: Análises Estratégicas** – São Paulo, Instituto de Botânica, 2010.224 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 26 out. 2019.

BRASIL. **Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de

março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 10 out. 2019.

**BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012.** Instituiu o código florestal brasileiro. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 13 mar. 2020.

CALIL, P. M; OLIVEIRA, L. F. C; KLIEMANN, H. J. E OLIVEIRA, V. A. Caracterização geomorfométrica e do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Alto Meia Ponte, Goiás. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** Campina Grande. v. 16, n. 4, p. 433-442, abr. 2012 . Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 12 mar. 2020.

CAMPOS, S.; NARDINI, R. C.; BARROS, Z. X. de; CARDOSO, L. G. Sistema De Informações Geográficas Aplicado à Espacialização da Capacidade de Uso da Terra. **Pesq. Agropec. Trop., Goiânia**, v. 40, n. 2, p. 174-179, abr./jun. 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/pat>>. Acesso em: 09 jun. 2020.

**CAMPOS, J.A. Fragilidade Ambiental e Capacidade de Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Caratinga, MG.** 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa – UFV.Viçosa-MG, 2018. Disponível em:<<https://www.locus.ufv.br>>. Acesso em: 11 maio 2020.

**CARVALHO, R. G. As Bacias Hidrográficas Enquanto Unidades de Planejamento e Zoneamento Ambiental no Brasil.** Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, v. Especial, n.36, p. 26-43, 2014. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br>>. Acesso em: 16 out. 2019.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002. Disponível em: <[www.abrh.org.br](http://www.abrh.org.br)>. Acesso em: 12 nov. 2019.

**COPASA - Plano de proteção ambiental sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Lage, município de Caratinga - junho/97.** ESC - Consultoria e Engenharia Ltda. – no prelo.

**CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Projeto Leste: Folha Caratinga - SE. 23-Z-D-VI, escala 1:100.000.** Belo Horizonte: CPRM, Belo Horizonte -MG, 76 p., 2000.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2010. Disponível em: <<https://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Geologia-Basica-26.html>>. Acesso em 15 mar 2020.

**CRISPIM, A. B. Sistemas Ambientais e Vulnerabilidades ao Uso Terra no Vale do Rio Pacoti - CE: Subsídios ao Ordenamento Territorial.** 2011. 201 f. Dissertação (Mestrado)

- Curso de Mestrado Acadêmico em Geografia da Universidade Estadual do Ceará, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-Ce, 2011. Disponível em: <<http://www.uece.br>>. Acesso em: 5 out. 2019.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. DE; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial.** 2001. São José dos Campos. SAE/INPE.

CRUZ, José Carlos; PEREIRA FILHO, Israel Alexandre; ALVARENGA, Costa Ramom; SANTANA, Derli Prudente. **Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13-24, jan./fev. 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 07 set. 2020

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória - MG. **Revista Brasileira de Cartografia.** Uberlândia-MG, v. 03, n. 62, p. 505-516, 02 out. 2010. Trimestral. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/issue/view/1637>. Acesso em: 11 jun. 2020.

CUNHA, A.; PEREIRA, L.; SANTOS, M.; RIBEIRO, M.; MARRANA, R. **Disponibilidade de água doce: haverá água doce suficiente para as necessidades humanas deste planeta?** Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2009. Disponível em: <[http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd\\_2009\\_10/relatorios/R211.pdf](http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2009_10/relatorios/R211.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. Brasília: EMBRAPA, Brasília, 353 p., 2013.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Metodologia para regionalização de vazões.** Rio de Janeiro, 1985a.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Manual de minicentrais hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 1985b.

EUCLYDES, H. P. **Atlas Digital das Águas de Minas.** 3<sup>a</sup> ed. Viçosa-MG. 2011. Disponível em:<<http://www.atlasdasaguas.ufv.br>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

FRANÇA, L. C. J; PIUZANA, D; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista Espacios**, Vol. 38, nº 31. Pág. 21, 2017. Disponível em:<<http://www.revistaespacios.com>>. Acesso em: 11 de jun. 2020.

FRANCHINI, Julio Cesar; ARMACOLO, Natassia Magalhães; DEBIASI, Henrique; BALBINOT JUNIOR, Alvadi; SANTOS, Esmael Lopes. Eficiência da manutenção e readequação do sistema de terraceamento numa fazenda no norte do Paraná. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do solo e da água, 20., 2016, Curitiba. **Anais [...].** Curitiba: NEPAR, 2016. p. 492-494. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 04 set. 2020.

FRANCO, G.B., BETIM, L.S., MARQUES, E.A.G., GOMES, R.L., CHAGAS, C.S. Relação Qualidade da Água e Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**. Edição 42 (Suppl 1), p.114-127, dez. 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/918308/fragilidade-ambiental-da-bacia-hidrografica-do-rio-almada---bahia>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

FREITAS, D.A.F, SILVA, M.L.N., CASTRO, N.E.A., CARDOSO, D.P., DIAS, A.C., CARVALHO, G.J., 2012. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Revista Agro@Mbiente On-line**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 117-123, ago. 2012. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/706>>. Acesso em: 09 jun. 2020.

GONÇALVES, G., DANIEL, O., COMUNELLO, É., VITORINO, A., & ARAI, Determinação Da Fragilidade Ambiental De Bacias Hidrográficas. **Floresta**, [S.l.], v. 41, n. 4, dec. 2011. ISSN 1982-4688. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br>>. Acesso em: 29 mai. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i4.25344>.

GOMES, R. L. Avaliação Da Fragilidade Ambiental E Vulnerabilidade Natural À Perda De Solo Da Bacia Hidrográfica Do Rio Almada. **Boletim de Geografia**, v. 31, n. 3, p. 41-53, 20 dez. 2013. Disponível em:<<http://www.periodicos.uem.br>>. Acesso em: 20 de março de 2019.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera**. Dissertação (Mestrado). UFRN. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal/RN.2003.

GUIMARÃES, F. S.; CORDEIRO, C. M.; BUENO, G. T.; CARVALHO, V. L. M.; NERO, M. A. Uma Proposta para Automatização do Índice de Dissecção do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 31 mar. 2017. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1163>>. Acesso em: 29 mai. 2020.

GUERRA, A. T. **Recursos Naturais do Brasil**. 3 ed. /Rio de Janeiro: IBGE, 1980. 220p.

HELPFER, F. **Demandas e Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo- (RS) nos Cenários Atual e Futuro para Diferentes Sistemas de Produção de Arroz Irrigado**. 2006. 249 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Pardo, Rio (rs), 2006. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/8635>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas). **Manual técnico de pedologia**. Manuais técnicos em geociências, nº 4, 2<sup>a</sup>. Ed. Rio de Janeiro, IBGE, 316p.2007. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>. Acesso em: 01 abril 2020.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Manual Técnico e Administrativo Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte – MG: Governo do Estado de Minas Gerais, 2015. 234 p. Disponível em: <[http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2018/OUTORGA/Manual\\_de\\_Outorga\\_IGA\\_M.pdf](http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2018/OUTORGA/Manual_de_Outorga_IGA_M.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2019.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos Caratinga – PARH Caratinga.** Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan/LUME, 105 p., 2010.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Base Cartográfica Digital.** Belo Horizonte – MG: Governo do Estado de Minas Gerais, 2010. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/1246>>. Acesso em: 11 de Março de 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2019). **Catálogo de Imagens.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 01 de Fevereiro de 2019.

JACOMINE, P.K.T. **A Nova Classificação Brasileira De Solos.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179.2009. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19350/1/Jacomine.pdf>>. Acesso em: 01 Abril 2020

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): Handbuch der Klimatologie. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1948. Banda 1, Parte C, p. 1-44.

LIMA, J. S. **Estudo Integrado da Paisagem, Geomorfologia e Geotecnologias: Proposta de Automatização dos Índices de Dissecção do Relevo.** 2018. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bacharel em Geografia, Instituto de Geociência. Departamento de Geografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018. Disponível em: <[http://www.geografia.ufba.br/TCC\\_Juarez\\_Souza\\_Lima\\_2018\\_1.pdf](http://www.geografia.ufba.br/TCC_Juarez_Souza_Lima_2018_1.pdf)>. Acesso em: 11 maio 2020.

LOPES, E. R.N. **Zoneamento Ecológico-Econômico: Diretrizes, Parâmetros e Técnicas para a Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas.** 2018. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba-SP, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br>>. Acesso em: 25 out. 2019.

MACHADO, M. F., SILVA, S.F. **Geodiversidade do Estado de Minas Gerais** ,131 p. CPRM, Belo Horizonte-MG.2010.

MALIK, M. I.; BHAT, M. S. Integrated Approach for Prioritizing Watersheds for Management: A Study of Lidder Catchment of Kashmir Himalayas. **Environmental Management**, v. 54, p. 1267–1287, 2014. Disponível em: <<https://pubag.nal.usda.gov>>. Acesso em: 22 Out 2019.

MATA, J.D.V. **Apostila de Classificação de Solos.** Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. 90 f. Maringá – PR. 2007. Disponível em :<[www2.ufrb.edu.br](http://www2.ufrb.edu.br)>. Acesso em: 01 Abril 2020.

MASSA, E.; ROSS, J. L. Aplicação De Um Modelo De Fragilidade Ambiental Relevo-solo Na Serra Da Cantareira, Bacia Do Córrego Do Bispo, São Paulo-sp. **Revista do**

**Departamento de Geografia**, v. 24, p. 57-79, 13 dez. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52754>>. Acesso em: 25 Mar 2020.

**MELO, M. C. Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de um modelo analítico e aplicação na bacia do rio das Velhas, Minas Gerais.** 2016. 495 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro -RJ, 2016. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/pt/teses-de-doutorado/391-2016/8306-marilia-carvalho-de-melo>>. Acesso em: 12 Out 2019.

**MESSIAS, C.G.; TROVÓ, D.F.G.** Dissecção do relevo da área de influência da hidrelétrica do Funil (MG): uma comparação entre os métodos de mapeamento manual e Índice de Concentração de Rugosidades. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 9, 2013. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro-RJ. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br>>. Acesso em: 11 maio 2020.

**MIGUEL, A. E. S., MEDEIROS, R. B., OLIVEIRA, W.**,2013. Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Taquaruçu/MS. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.I.], v. 9, n. 2, nov. 2013. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

**MINAS GERAIS. Deliberação Normativa CERH - MG, Nº 48, de 04 de Outubro de 2019:** Estabelece normas Suplementares para a Regularização dos Recursos Hídricos de Domínio do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Minas Gerais-MG, 2019. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>>. Acesso em: 15 out. 2019.

**MINAS GERAIS. Deliberação Normativa CERH - MG, Nº 9, de 22 de setembro de 2004:** Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Minas Gerais -MG, 2004. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2019.

**MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: SEMAD, 1999. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>>. Acesso em: 15 out. 2019.

**MITCHELL, D.; GRENFELL, R.; BELL, K.C.** *Investigating the Benefits of Land Administration Information to Natural Resource Management*. FIG Working Week 2004. Athens, Greece. May, p. 22-27. 2004. Disponível em: <<http://www.fig.net>>. Acesso: 10 nov. 2018.

**MOREIRA, M. C. Gestão e planejamento dos recursos hídricos: regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água.** 2010. 85 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2010. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br>>. Acesso em: 15 out. 2019.

**MOREIRA, M. C., SILVA D.D, PRUSKI, F.F., LARA, M.S.** Índices para Identificação de Conflitos pelo Uso da Água: Proposição Metodológica e Estudo de Caso. **RBRH – Revista**

**Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 17 n.3 - Jul./Set 2012, 7-15. Disponível em :<<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=94&SUMARIO=1130>>. Acesso em: 29 mai. 2020.

MUÑOZ, V. A.; VALERIANO, M.M. Modelagem da dissecação por geoprocessamento para delineamento de manchas de solo. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. 2009. p. 7741-7748. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br>>. Acesso em: 11 maio 2020.

NASCIMENTO, N.S.; VIEIRA, E.M.; GONÇALVES, J.A.C.; CUNHA, G. de P.Q. Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local ,2016. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v. 09. n. 03 (2016) 897-916.

NETO, L. F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Revista Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 29 maio 2020.

NICOLAU, R.F. Vulnerabilidade da paisagem à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe – Goiás. **Revista Caminhos da Geografia**. Uberlândia-MG v. 19, n. 66 Junho/2018 p. 285–296. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br>>. Acesso em 02 ago. 2019.

NOVAES, L.F. **Modelo para a Quantificação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Paracatu**.2005. 115 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9726>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

NOVAES, L. F. de; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. Del G. Gestão de recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa das vazões mínimas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 1, p. 62-74, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/download>>. Acesso em: 22 out 2019.

OLIVEIRA, J.B. **A Nova Classificação Brasileira De Solos**. O Agronômico, Campinas – SP, 53(1), 2001. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

OLIVEIRA, J. S., CARVALHO, T. M. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da Expansão Urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica**. v.8, n.1. 2014. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br>>. Acesso em: 15 out. 2019.

OLIVEIRA, J.H.M; CHAVES, J. M. Mapeamento e Caracterização Geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia (mapping and characterization geomorphology:Ecoregion Catherine of shallow and NE of Bahia). **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 20, p. 217 a 238, jan. 2011. ISSN 1984-2201. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/400>>. Acesso em: 11 maio 2020.

OLSZEVSKI, N.; FERNANDES-FILHO, E. I.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do

Rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 485-492, 2011.

**PEREIRA, S.B. Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco.** 2004. 103 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <locus.ufv.br/handle/123456789/9701>. Acesso em: 19 jun. 20.

**PEREIRA, J. R. Caracterização hidrológica como ferramenta de análise ambiental da APA/Bacia do Rio Maior.** 2016. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/3986>>. Acesso em: 28 Out 2019.

**PHILIP, R.; SALIAN, P. Kit de Treinamento SWITCH: Gestão Integrada das Águas na Cidade do Futuro.** Alemanha: ICLEI European Secretariat GmbH. Módulo 6: Auxílio à Decisão Escolhendo um Caminho Sustentável. 49 p., 2011. Disponível em: [switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch\\_training/files/Modules/Modules\\_Portuguese/Modulo\\_4.pdf](http://switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Modules/Modules_Portuguese/Modulo_4.pdf). Acesso em: 19 jun. 20.

**RIBEIRO, A., MINCATO, R., CURI, N., & KAWAKUBO, F.** Vulnerabilidade Ambiental à Erosão Hídrica em uma Sub-Bacia Hidrográfica pelo Processo Analítico Hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 016-031, jan. 2016. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232956>>. Acesso em: 11 jun. 2020.

**RIOS, ANDRÉA LEITE.** **Governança das águas:** estudo dos índices de conflito pelo uso da água no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos da micro-bacia do Rio Peidade, Minas Gerais. 2014. 74 f. Monografia (Especialização) - Gerenciamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br>>. Acesso em: 28 out 2019.

**ROCHA, A. A.** Uso da terra pela cafeicultura e degradação ambiental no entorno da Barragem Água Fria em Barra do Choça – Bahia. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 53-62, 27 out. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/10423>>. Acesso em: 12 Nov. 2019.

**RODRIGUES, K. R.** **Geoambientes e as implicações do uso do solo nos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lage – MG.** 2004. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Sustentabilidade. Centro Universitário de Caratinga, Caratinga-MG, 2004.

**ROSS, J. L. S.** Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, São Paulo, 1994. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000873908>>, acesso em 25 de ago de 2019.

**ROSS, J.L.S.** Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, volume especial de 30 anos, 38-51. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53841/57804>>, acesso em 25 de maio de 2020.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. de S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades **In:** MAGNONI JÚNIOR, L. et al. (orgs) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano, Centro Paula Souza, São Paulo, 2017. p. 58-77

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas.** 2004. 107f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004. Disponível em :<<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9609>>. Acesso em: 12 Nov. 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 187p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos>>. Acesso em: 25 mar.2020.

SANTOS, Julio Cesar Freitas; MARCHI, Giuliano; MARCHI, Edilene Carvalho Santos. Cobertura do solo no controle de plantas daninhas do café. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 56p. Disponível em: <<http://www.sapc.embrapa.br>>. Acesso em 07 set. 2020.

SANTOS JUNIOR, J. L.; OLIVEIRA, J. H. M. Caracterização da vulnerabilidade à erosão dos solos da bacia do rio Juliana: APA do Pratigi - BA. **In:** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 2198-2205. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. C. da. Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18 n. 3, p. 81-95, jul/set 2013. Disponível em : <<https://www.abrhidro.org.br>> .Acesso em : 19 jun. 20.

SANTOS. C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. **Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 1, p.77-85, 2008.

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. (2016 – 2018). Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 11 de Março de 2019.

SILVA, L.M.C.; MONTEIRO, R.A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. **In:** Gestão de águas doces: usos múltiplos, políticas públicas e exercício da cidadania no Brasil.(Org.) Machado, C.J.S.ed. Interciência. Rio de Janeiro – RJ, pp.135 – 178.2004.

SILVA, E. R. A. C.; SILVA, C. A. V.; LAURENTINO, M. L. S.; SANTANA, N. M. G.; OLIVEIRA, P. F. P.; SILVA, H. A.; GALVÍNCIO, J. D. Mapeamento Do Estresse Hídrico

Na Vegetação A Partir Da Utilização Do Ndwi: Comparação Com A Adaptação Da Metodologia Australiana Mwp Aplicada Ao Médio Trecho Da Bacia Hidrográfica Do Ipojuca-pe. **Anais:** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR. Curitiba-PR, 30 de abril a 5 de maio de 2011. Disponível em :<<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

SILVA JÚNIOR, O. B., BUENO, E. O., TUCCI, C. E. M., CASTRO, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, 2002. p. 21-37. Disponível em: <<http://rhamar.com.br>>. Acesso em: 12 Out 2019.

SILVA, L. C. L.; OLIVEIRA, F. S.; RAMOS, V. D. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. Pedodiversidade no estado de Minas Gerais - Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte-MG, v. 28, p.18-39, 25 mar. 2019. Trimestral. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/P.2318-2962.2018v28nespp18>>. Acesso em: 25 de março 2020.

SIQUEIRA, H. E. **Vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos interceptados por rodovias na bacia do rio Uberaba, Jaboticabal-MG**, 2016 iii, 44 p.: Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br>>. Acesso: 10 Nov 2018.

SOARES, L., LOPES, W., CASTRO, A. C., & ARAUJO, G. Análise Morfométrica E Priorização De Bacias Hidrográficas Como Instrumento De Planejamento Ambiental Integrado. **Revista Do Departamento De Geografia**, 31, 82-100.2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/rdg.v31i0.107715>>, Acesso: 10 Nov 2018.

SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M. **Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR)**. Geografia (Londrina), v. 21, n. 1, p. 19-36, 2012. Disponível em: <<http://www.uel.br>>, Acesso: 10 nov. 2018.

SOUZA, S. M. T. (Coord.) Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: COPASA: HIDROSISTEMAS, 1993.

SPORL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguárez-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Doi:10.11606/D.8.2001.tde-18012002-225147. Disponível em: <<https://teses.usp.br>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 11, 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1657-1664.

TRICART, J. **Eco dinâmica**. Rio de Janeiro. IBGE/SUPREN. 1977. 91p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ecodinamica.pdf>>, acesso em 25 de março de 2020.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed.UFRGS/ABRH.1997. Porto Alegre – RS.943 p.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de vazões. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, C. E. M; C. A. MENDES. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica / Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/sqa\\_3.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2020.

VERIATO.M. K. L., Barros, H. M. M., Souza, L. P., Chicó, L. R., E Barosi, K. X. L. Água: Escassez, crise e perspectivas para 2050. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** [Online], Volume 10 Número 5 (3 dezembro 2015). Disponível em: <<https://www.gvaa.com.br>>. Acesso em: 02 out. 2019.

VAEZA, R. F.; FILHO, P. C. O.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Revista Floresta e Ambiente**, v.17, n.1. pp.23 – 29.2010. Disponível em: <<https://www.floram.org>>. Acesso em: 19 mai. 2020.

VALLADARES, G. S.; GOMES, A. D. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. **Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural**. EMBRAPA. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, set. 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 01 abr. 2020.

VALLE, I. C., FRANCELINO, M.R, PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta Ambient**. Seropédica, v. 23, n. 2, p. 295-308, June 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2008.

WANG, J. et al. Optimal Allocation of Water Resources Based on Water Supply Security. **Water**, v. 8, n. 237; 2016. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/8/6/237>>. Acesso em: 29 mai. 2020.

ZONTA, J. H. **Práticas de conservação de solo e água**. 2012. Campina Grande: Embrapa algodão, 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/928493/praticas-de-conservacao-de-solo-e-agua>>. Acesso em: 04 set. 2020.