

**Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte - MG**

Adriana Monteiro da Costa  
Departamento de Geografia -IGC/UFMG  
drimonteiroc@yahoo.com.br

Hugo Henrique Cardoso de Salis  
Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais - IGC/UFMG  
hugo.salis@yahoo.com.br

Bárbara Janine Reis Silva Araújo  
Geógrafa - IGC/UFMG  
barbarajarsa@gmail.com

Maíse Soares de Moura  
Doutoranda em Geografia - IGC/UFMG  
maisedemoura@hotmail.com

Victor Cordeiro da Silva  
Graduando em Geografia - IGC/UFMG  
victorcordeiro818@gmail.com

Amanda Ribeiro de Oliveira  
Doutoranda em Geografia - IGC/UFMG  
amanda.geoufmg@gmail.com

Max Paulo Rocha Pereira  
Doutoranda em Geografia - IGC/UFMG  
mqualidadeambiental@gmail.com

João Herbert Moreira Viana  
Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo  
joao.herbert@embrapa.br

**Resumo**

Diferentes métodos de caracterização e avaliação ambiental são aplicados em estudos que tenham, como unidade espacial, as bacias hidrográficas. No intuito de auxiliar a tomada de decisão, voltada ao planejamento, conservação e mitigação de eventuais conflitos, estudos desta natureza valem-se de procedimentos que conciliam uma interpretação apurada do meio físico, podendo combinar-se com os propósitos cartográficos, em aspecto quali-quantitativo. O método Potencial de Uso Conservacionista (PUC) contempla esta premissa e se aplica à análise espacial de bacias hidrográficas, em função dos potenciais de recarga hídrica e de uso agropecuário, bem como da resistência à erosão. Baseado no método multicriterial da Análise Hierárquica de Processos (AHP) de Saaty (1997), o PUC considera a ponderação de valores dados às classes de solos, litologia e declividade e, expressa-se, cartograficamente, por meio da álgebra de mapas e avaliações zonais. Este trabalho objetivou a descrição do método PUC, tendo-o aplicado ao estudo da bacia hidrográfica do Rio Gualaxo do Norte (BHRGN), localizada no estado de Minas

Gerais, Brasil. De forma prática, a interpretação da aplicação do método demonstrou que a BHRGN possui, majoritariamente, áreas de médio PUC, em consonância com os atributos físicos distribuídos na área.

**Palavras-chave:** Potencial de uso conservacionista. Análise hierárquica de processos. Ponderação. Álgebra de mapas. Bacias hidrográficas.

### **Potential of conservationist use in hydrographic basins: case study for the Gualaxo do Norte river hydrographic basin - MG**

#### **Abstract**

Different methods of environmental characterization and evaluation are applied in studies that have the hydrographic basins as their spatial unit. In order to assist decision making, focused on the planning, conservation and mitigation of possible conflicts, studies of this nature use procedures that reconcile an accurate interpretation of the physical environment, being able to combine with the cartographic purposes, in a quali-quantitative aspect. The method named Potential of Conservationist Use (PUC in its acronym in Portuguese) contemplates this premise and applies to spatial analysis of hydrographic basins, depending on the potential for water recharge and agricultural use, as well as resistance to erosion. Based on the multicriterial method of Analytic Hierarchy Process (AHP) by Saaty (1997), PUC considers the weighting of values given to soil classes, lithology and slope and is expressed, cartographically, through the algebra of maps and zonal evaluations. This work aimed to describe the PUC method, having applied it to the study of the Rio Gualaxo do Norte Hydrographic Basin (BHRGN), located in the state of Minas Gerais, Brazil. In a practical way, the interpretation of the application of the method demonstrated that BHRGN has, for the most part, medium PUC areas, in line with the physical attributes distributed in the area.

**Keywords:** Potential of conservationist use. Hierarchical process. Analysis, weighting of variables. Map algebra. Hydrographic basins

#### **Introdução**

No Brasil, as discussões relacionadas à análise ambiental, frequentemente, giraram em torno da temática dos recursos hídricos e, o SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos) tem incentivado a criação de instrumentos de gestão, no intuito de garantir a provisão dos mesmos (SALIS *et al.*, 2017). Assim, a geração de dados e a elaboração de estudos e diagnósticos que possam subsidiar planos de ação para contornar ou prevenir potenciais conflitos, fizeram-se necessárias (LEMONS; MAGALHÃES, 2015; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2013). O Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) é a metodologia oficial do Estado de Minas Gerais para a caracterização socioeconômica e ambiental de sub-bacias hidrográficas, sendo que, para tal, realiza os estudos do Diagnóstico da Disponibilidade Hídrica, do Levantamento do Uso e Ocupação do Solo e, por fim, da Definição de Unidades de Paisagem das sub-bacias estudadas (SEMAD/SEAPA, 2016).

Originalmente, de acordo com a segunda edição da metodologia ZAP, a etapa referente à definição das Unidades de Paisagem é realizada conforme proposto por Fernandes *et al.* (2013), onde estas são delimitadas, manualmente, por meio da análise das curvas de nível sobrepostas ao terreno, o que torna o método sujeito às interpretações subjetivas e, variável conforme cada analista, sendo portanto, mais sensível e conferindo pouca replicabilidade. No intuito de sanar tais questões, Costa *et al.* (2017b) propuseram um método alternativo denominado Potencial de Uso Conservacionista (PUC), o qual busca, por meio de critérios técnicos e objetivos, com o uso de ponderação e álgebra de mapas, levantar as potencialidades e limitações do meio físico como subsídio ao ordenamento territorial e ao planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas (COSTA *et al.*, 2017b), sendo que esta análise também pode ser empregada independente da metodologia ZAP para a caracterização de bacias hidrográficas (COSTA *et al.*, 2019).

O PUC é um método de análise espacial que segmenta e classifica as áreas de bacias hidrográficas, em função dos potenciais de recarga hídrica, para uso agropecuário e da resistência à erosão (COSTA *et al.*, 2017b). Esta avaliação é feita por meio da ponderação de valores atribuídos às diferentes classes de declividade, solo e de litologias presentes nas bacias hidrográficas de Minas Gerais, assumindo-se que tais variáveis possam indicar o potencial de uso de uma dada área. Esta ponderação conduzirá à equação que expressará o potencial de uso conservacionista, valendo-se, para tanto, da álgebra de mapas, em um ambiente de *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Quando a avaliação ambiental se dá em função de diferentes variáveis, como no método PUC, é necessária uma análise para determinação da influência de tais variáveis no objeto de estudo. Para tal, é possível a adoção dos métodos multicriteriais a fim de auxiliar as decisões, diante da dificuldade que há em obter-se uma ordenação objetiva e a avaliação da importância e influência de cada uma das variáveis (GIMENES; AUGUSTO, 2013). Dentre os métodos multicriteriais é possível destacar a Analytic Hierarchy Process (Análise Hierárquica de Processos - AHP) (SAATY, 1997), uma modelagem de dados analisados para atenuar a subjetividade das análises (SENA, 2008), a qual consiste em uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada das variáveis analisadas (SAATY, 1997). Saaty (1997) propõe que diferentes

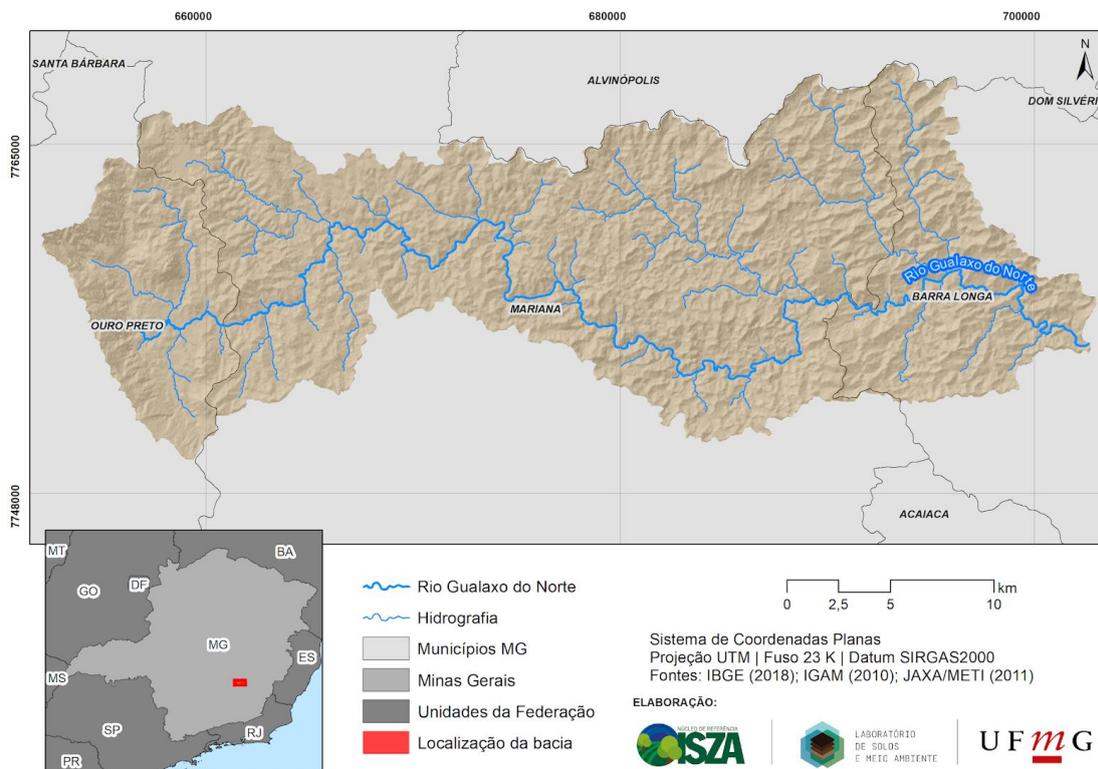
fatores que interferem nos processos de decisão sejam comparados, dois a dois, sendo essa comparação sustentada por uma escala determinada pelo mesmo autor, a qual define um critério quali-quantitativo de importância relativa das variáveis, dentre as analisadas de modo pareado. Dessa forma, o método proposto por Saaty (1997), permite avaliar a importância relativa entre as variáveis que influenciam o objeto de estudo e, através de critérios matemáticos, é possível avaliar a consistência das avaliações comparativas realizadas.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo a descrição do método do Potencial de Uso Conservacionista, por meio do uso das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e procedimentos da Análise Hierárquica de Processos (AHP), para a definição dos pesos das variáveis associadas à determinação da metodologia. Para tal, foi realizado o estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte (BHRGN), no intuito de avaliar o Potencial de Uso Conservacionista da referida área.

### **Materiais e métodos**

Este estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte localizada nos municípios de Ouro Preto, Mariana e Barra Longa (Figura 1), inseridos nas mesorregiões da Região Metropolitana de Belo Horizonte e da Zona da Mata, do estado de Minas Gerais (IBGE, 2018). Com extensão de aproximadamente 561 km<sup>2</sup>, a área de estudo tem sua cabeceira localizada a Nordeste do município de Ouro Preto e a Noroeste do município de Mariana.

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, mar. 2020

O rio Gualaxo do Norte é afluente do rio do Carmo e, portanto, pertencente à bacia hidrográfica do rio Doce e compõem a região hidrográfica do Atlântico Sudeste. Inserida na porção Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), a BHRGN possui grande parte de sua extensão localizada no Supergrupo Minas, em domínios geomorfológicos e geológicos diversos (RODRIGUES, 2012), distribuídos do alto ao baixo curso do rio Gualaxo do Norte. Na área de estudo, há predominância das litologias dos tipos filitos, xistos, itabiritos e metaconglomerados (CODEMIG; CPRM, 2014) e as formas de relevo são, em sua maioria, onduladas. As altitudes na bacia variam de 370 m a 1.870 m, resultando em uma amplitude altimétrica de 1.500m (IBGE, 1975, 1976). Já os solos da região, são, predominantes, os Latossolos Vermelho-Amarelos, os Argissolos Vermelho-Amarelos, os Cambissolos Háplicos e os Neossolos Litólicos (UFV *et al.* 2010).

As bases de dados espaciais, utilizadas neste estudo, compreendem planos temáticos de informação geográfica nos formatos vetorial do tipo *shapefile* (solos e litologia) e matricial (raster de declividade), tendo sido extraídas de diferentes

repositórios de acesso livre, vide Tabela 1. As referidas bases, operações de geoprocessamento e a composição cartográfica foram realizadas na aplicação ArcMap para o ArcGIS na versão 10.3.1 para *Desktop* (ESRI, 2015).

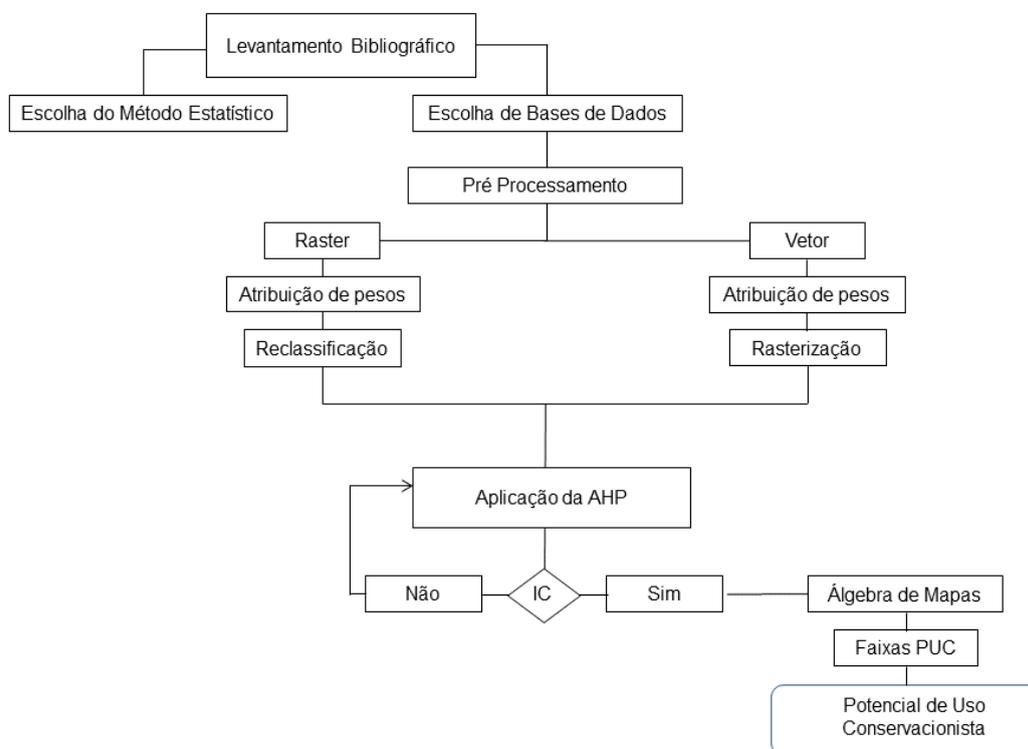
**Tabela 1:** Bases de dados espaciais utilizadas para aplicação do método PUC

<b>Bases</b>	<b>Escalas numéricas</b>	<b>Fontes</b>
Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS Palsar	Resolução espacial de 30 metros, disponível na forma reamostrada em <i>downsampling</i> para 12,5 m (ASF, 2015)	JAXA/METI (2011)
Mapa de solos do estado de Minas Gerais	1:650.000	UFV <i>et al.</i> (2010)
Mapa geológico do estado de Minas Gerais	1:1.000.000	CODEMIG e CPRM (2014)
Rede hidrográfica do estado de Minas Gerais	1:1.000.000	IGAM (2010)

Fonte: Elaborado pelos autores, com referência aos dados utilizados, mar. 2020

O método Potencial de Uso Conservacionista (PUC) (Costa *et al.*, 2017b) foi aplicado sequencialmente, obedecendo as etapas de: i) pré-processamento das bases cartográficas; ii) atribuição de pesos às variáveis ambientais (declividade, solos e litologias), conforme Costa *et al.* (2017a); iii) ponderação das variáveis ambientais quanto ao potencial de uso conservacionista, baseada na Análise Hierárquica de Processos (AHP) e cálculo do Índice de Consistência (IC), e iv) execução da álgebra de mapas e definição das classes de PUC. Todos os procedimentos executados para determinação do PUC podem ser observados no Fluxograma 1.

**Fluxograma 1.** Síntese dos procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborado pelos autores, mar. 2020

No pré-processamento foi realizada a padronização do sistema de coordenadas dos dados vetoriais e matriciais a partir do processo de conversão para a projeção plana Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23S e datum SIRGAS2000, possibilitando cálculos de área com maior confiabilidade. Todos os sequenciamentos inclusos na etapa de pré-processamento foram realizados, nas camadas vetoriais e matriciais, com o uso de retângulo envolvente, portanto, em área maior do que somente a da bacia hidrográfica em tela, a fim de evitar perdas de informações nas bordas dos rasters, com o recorte para a área de estudo. Por fim, foi dada a ponderação dos pesos de Potencial de Uso Conservacionista atribuídos às classes de declividade, ao primeiro nível categórico dos solos e às litologias.

O cálculo de declividade foi realizado a partir da ferramenta *Slope* da extensão *Spatial Analyst* (ArcGis), em porcentagem, a partir do MDE (JAXA/METI, 2010). Dado o cálculo de declividade, os intervalos foram atribuídos baseados nas fases de relevo propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006).

Uma adaptação da classificação das fases do relevo proposta pela Embrapa (2006) foi realizada, de modo a agrupar as fases de relevo montanhoso (45 a 75% de declividade) e escarpado ( $> 75\%$ ), esses últimos, para os quais a indexação do potencial de uso não se aplicaria de forma tão mais eficaz do que para as formas planas, onduladas e montanhosas.

A reclassificação do raster de declividade, com atribuição dos pesos às classes presentes em cada variável ambiental, foi realizada conforme proposto por Costa *et al.* (2017a). Segundo estes autores, os pesos apresentam valores entre 1 a 5 e, quanto menor for a classe declividade maior é peso PUC para esse atributo. De maneira análoga, atribuiu-se os pesos às classes de solos (para o primeiro nível categórico) e litologia, em observância aos parâmetros, levando-se também em consideração o potencial quanto ao uso agropecuário, o potencial de recarga hídrica e a resistência aos processos erosivos (Costa *et al.*, 2017a). Nestes vetores inseridos no ambiente SIG, os pesos foram colocados na Tabela de Atributos, por meio da habilitação de edição e, em seguida, rasterizados, por meio da ferramenta *polygon to raster*.

Para a ponderação das variáveis ambientais, quanto ao seu Potencial de Uso Conservacionista, foi realizada a comparação pareada das variáveis por meio da Análise Hierárquica de Processos (SAATY, 1977) com base na escala de Saaty (1997) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Escala de Saaty (1977)

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra.	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6 e 8	Valores intermediários.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos acima de 0	Se a variável <i>i</i> tiver um dos números não nulos acima atribuídos a ele quando comparado com a atividade <i>j</i> , então <i>j</i> tem o valor recíproco quando comparado com as razões <i>i</i> provenientes da escala <i>i</i> .	Suposição Lógica.
Racionais	Razões decorrentes da escala.	Se a consistência fosse forçada obtendo <i>n</i> valores numéricos para abranger a matriz.

Fonte: Escala de Saaty (1977) adaptada por Coelho (2017)

As variáveis ambientais foram ordenadas em uma matriz de comparação pareada de ordem 3 e, em seguida, foram atribuídos valores de importância, variando de 1 a 9, onde 1 significa que a variável tem igual importância e 9 indica que a variável tem importância absoluta sobre a outra (Tabela 2). A definição dos valores de importância levou em consideração a resposta ao método e cálculos do PUC e a correspondência com os contextos da paisagem das áreas de análises (como em outras bacias hidrográficas), extrapolando as características observadas somente para a BHRGN. Para tanto, houve ajustes à Escala de Saaty (1977) nas notas de intensidade de

importância e sem que houvesse prejuízo aos Índices de Coerência (IC) e de Consistência (RC) (SAATY, 1977) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Comparação pareada entre as variáveis ambientais utilizadas

Variáveis ambientais	Solo	Litologia	Declividade
Solo	1	4	1/1,5*
Litologia	1/4	1	1/4
Declividade	1,5*	4	1

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Saaty (1977)

\* O valor 1,5 atribuído no pareamento das variáveis solo e declividade, intermediário entre 1 e 3 (Tabela 2), foi utilizado em opção ao valor 2 para conferir maior consistência do modelo, aferido através do cálculo de RC.

A partir dos valores de comparação adotados, realizou-se a normalização da matriz e, em seguida, o cálculo dos valores de ponderações para cada variável aplicados ao Potencial de Uso Conservacionista. Foram testados os IC e RC da matriz que, apresentaram valores 0,03 e 0,05, respectivamente, demonstrando que os pesos estabelecidos são adequados (SAATY, 1977, 2008) e, portanto, podem ser utilizados para a ponderação das variáveis estudadas (Quadro 1).

**Quadro 1:** Variáveis e seus respectivos valores de ponderação para a álgebra PUC

Variável ambiental	Valor de ponderação	Explicação
Declividade	0,50	Aproximadamente 50% do potencial de uso conservacionista pode ser explicado por essa variável, uma vez que representa a forma do terreno, determina o movimento do fluxo de escoamento superficial e o grau de acesso à área. Também está associada às inúmeras potencialidades e limitações quanto ao uso pretendido para a paisagem.
Solos	0,39	Aproximadamente 39% do potencial de uso conservacionista pode ser explicado por essa variável, uma vez que determina o grau de fertilidade natural da área, a capacidade de armazenamento de água na camada efetiva do solo e a resistência ou a vulnerabilidade aos processos erosivos.
Litologia	0,11	Cerca de 11% do potencial de uso conservacionista pode ser explicado por essa variável, que se relaciona com a resistência à denudação e com a composição química e mineralógica das rochas.

Em seguida, realizou-se a álgebra de mapas para a definição do Potencial de Uso Conservacionista (PUC), conforme a Equação 1:

$$\text{PUC} = (\text{declividade} * 0,50) + (\text{solos} * 0,39) + (\text{litologia} * 0,11) \quad \text{Equação (1)}$$

Posteriormente, reclassificou-se ao raster final, conforme os intervalos obtidos na equação acima, em ordem crescente, aos números inteiros, de 1 a 5, de forma a padronizar as análises ambientais e permitir a comparação dos resultados em diferentes áreas (UFMG/IGC-LABORATÓRIO DE SOLOS E MEIO AMBIENTE; Costa et al., 2019b). Atribui-se a cada classe uma simbologia representativa, em cores, para padronizar os resultados na produção cartográfica (Tabela 4).

**Tabela 4.** Intervalos de abrangência e cores das classes para representação do PUC

<b>Classes</b>	<b>Intervalos</b>	<b>Cores de representação</b>
Muito baixo	1,0 a 1,8	Vermelho
Baixo	1,8 a 2,6	Laranja
Médio	2,6 a 3,4	Amarelo
Alto	3,4 a 4,2	Verde
Muito alto	4,2 a 5,0	Azul

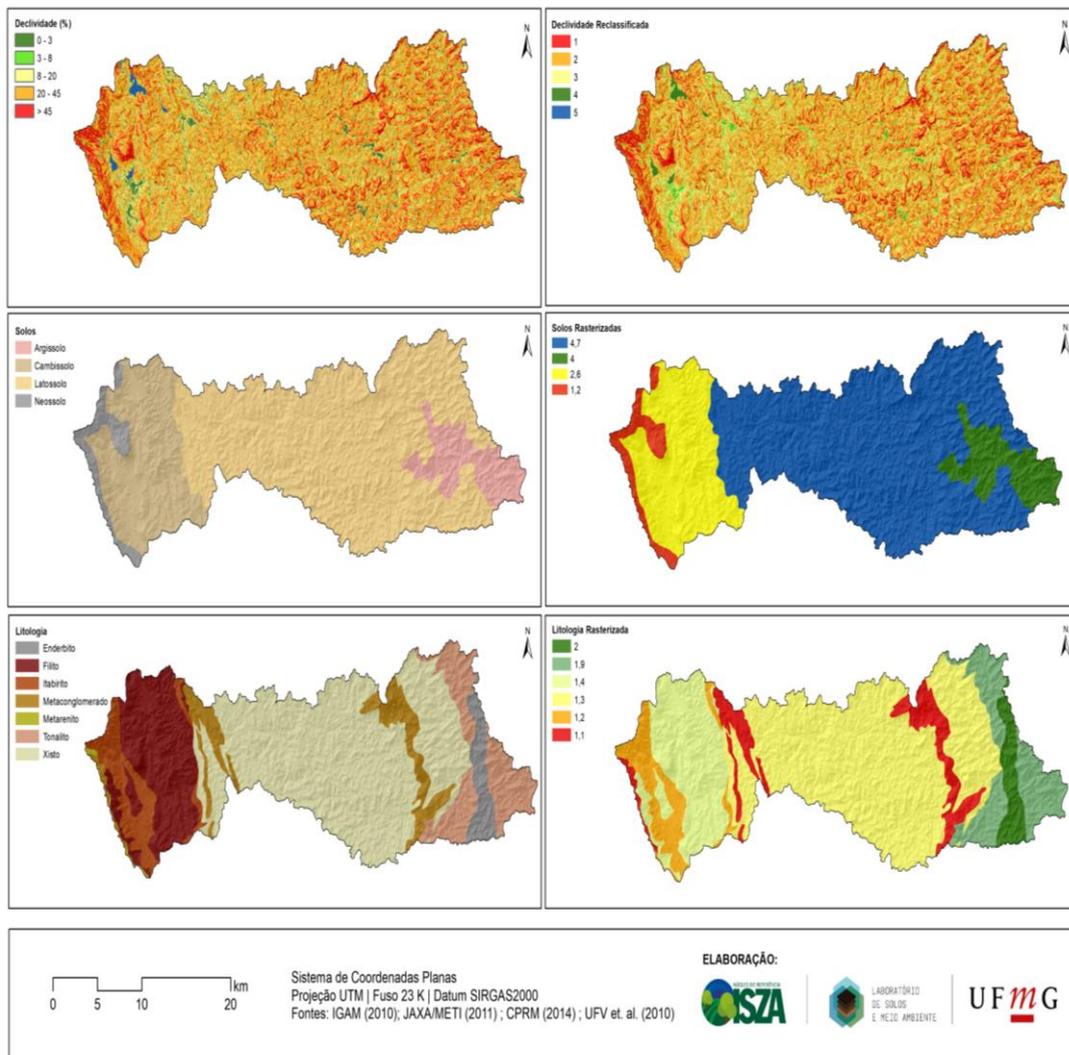
Fonte: UFMG/IGC-Laboratório de Solos e Meio Ambiente, 2017; UVF/CEAD, 2019.

A reclassificação do raster final, produto da álgebra de mapas, foi realizada obedecendo-se a associação entre os intervalos obtidos na Equação 1, em ordem crescente, aos números inteiros, de 1 a 5. Assim, o menor número, tanto em intervalo, quanto reclassificado, representa o PUC Muito Baixo e, o maior, representa as áreas de PUC Muito Alto, de acordo com as classes. Dadas as classes em números inteiros, a análise qualitativa das áreas foi realizada por meio da ferramenta *Zonal Statistics as Table*, permitindo a leitura dos valores das células correspondentes à cada uma das classes PUC.

### **Resultados e discussão**

Os resultados da reclassificação das variáveis ambientais (declividade, solos e litologias) para a BHRGN são apresentados na Figura 2 e nas Tabelas 5, 6 e 7.

**Figura 2.** Classes das variáveis ambientais e suas respectivas reclassificações



Fonte: Elaborado pelos autores, mar. 2020

Observa-se na bacia a presença de todas as classes de declividade, com tipos de relevo variando de Plano a Montanhoso/Escarpado (Tabela 5). O relevo forte ondulado, com declividades variando de 20 a 45%, é dominante na área de estudo, representando 56,5% da área total, enquanto o relevo plano (0 a 3%), o de menor abrangência, compreende aproximadamente 1,2% da área da bacia.

**Tabela 5.** Pesos atribuídos às classes de declividade para a área de estudo

<b>Declividade (%)</b>	<b>Fases de relevo</b>	<b>Peso PUC</b>
0 a 3	Plano	5
3 a 8	Suave Ondulado	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	2
> 45	Montanhoso a Escarpado	1

Fonte: Costa *et al.* (2017a)

Na bacia a classe de solo de maior abrangência é a dos Latossolos, representando aproximadamente 66% da área total. Esta corresponde à segunda classe de solo de maior peso do PUC (4,7) (Tabela 6), indicando solos com boas condições físicas, tais como profundidade, estrutura e drenagem que, favorecem ao potencial de uso conservacionista. Também estão presentes na área, solos de menor potencial, como os Cambissolos (21,5%) e Neossolos (4,0%) que, por serem mais frágeis, necessitam de maior atenção às práticas de manejo e conservação dos solos.

**Tabela 6.** Pesos atribuídos às classes de solos para a área de estudo

<b>Classes de solos</b>	<b>Peso PUC</b>
Latossolo	4,7
Argissolo	4,0
Cambissolo	2,6
Neossolo	1,2

Fonte: Costa *et al.* (2017a)

Foram identificados na BHRGN sete diferentes litotipos, aos quais foram atribuídos pesos que variam de 1 a 2 (Tabela 7). Estes são muito baixos e indicam litologias com baixo potencial de fornecimento de nutrientes e menor susceptibilidade aos processos do intemperismo, o que implica em menor potencial nestas áreas. A classe de litologia de maior representação espacial na bacia é a do Xisto, a qual representa 51,7% da área, seguida pelos Filitos (17,6%).

**Tabela 7.** Pesos atribuídos às litologias para a área de estudo

<b>Litologias</b>	<b>Peso PUC</b>
Enderbito	2,0
Tonalito	1,9
Filito	1,4
Xisto	1,3
Itabirito	1,2
Meta-arenito	1,2
Metaconglomerado	1,1

Fonte: Costa *et al.* (2017a)

A análise do Potencial de Uso Conservacionista (PUC) para a BHRGN mostra que, a maior parte da bacia, está contida em áreas com PUC médio (49,9%) (Tabela 8).

**Tabela 8:** Classes do PUC e suas respectivas áreas para a bacia do rio Gualaxo do Norte, MG

<b>Classes PUC</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Muito baixo	33,7	6,0
Baixo	126,5	22,5
Médio	280,2	49,9
Alto	116,2	20,7
Muito alto	5,1	0,9
<b>Total</b>	<b>561,6</b>	<b>100,0</b>

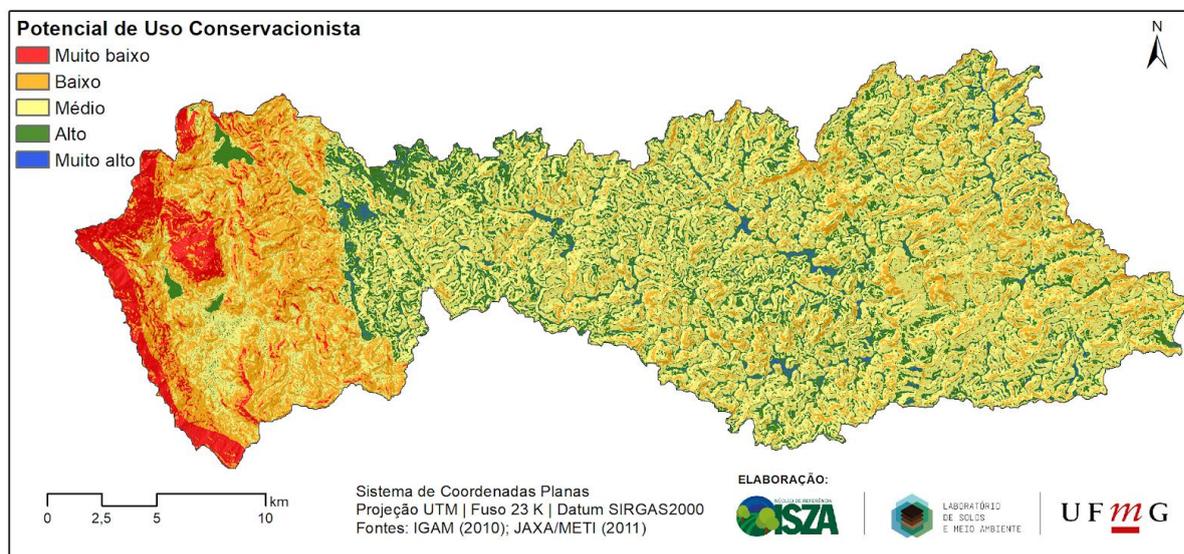
Fonte: Elaborado pelos autores, mar. 2020

As classes de PUC Muito Baixo e Baixo (Figuras 3 e 4a e 4b) são as com maiores limitações de uso e correspondem a 28,5% da área total (Tabela 8) localizando-se, de forma majoritária, no alto curso da BHRGN (Figura 3). Estas áreas são compostas predominantemente pelas classes dos Cambissolos e Neossolos, sendo estes poucos desenvolvidos, de menor profundidade efetiva e de baixa fertilidade natural, devido à litologia dominante (Filito, Itabirito e Metarenito). Estas características, associadas ao relevo mais movimentado, correspondente às áreas das escarpas e de afloramentos, na Serra do Ouro Preto (Figuras 2, 3 e 4), conferem maior instabilidade às áreas e grandes restrições quanto ao potencial para recarga hídrica, uso agropecuário e resistência ao processo erosivo. Fiori *et al.* (2010), ao analisarem diferentes classes de solo quanto ao potencial de recarga, concluíram que o grupo formado por solos jovens ou pouco desenvolvidos, o que inclui Cambissolos e diferentes tipos de Neossolos, com exceção

dos quartzarênicos, possuem baixa capacidade de infiltração da água, elevado escoamento superficial e reduzida transferência de água subterrânea para alimentação de nascentes e drenagens (FIORI *et al.*, 2010), tornando-os assim menos favoráveis à recarga.

Cabe ressaltar que áreas com menores valores de PUC necessitam de práticas adequadas para o uso e ocupação do solo, uma vez que são áreas mais frágeis (Costa *et al.*, 2019) e mais suscetíveis à degradação quando submetidas às práticas inadequadas de manejo.

**Figura 3:** Potencial de Uso Conservacionista para a bacia do rio Gualaxo do Norte, MG

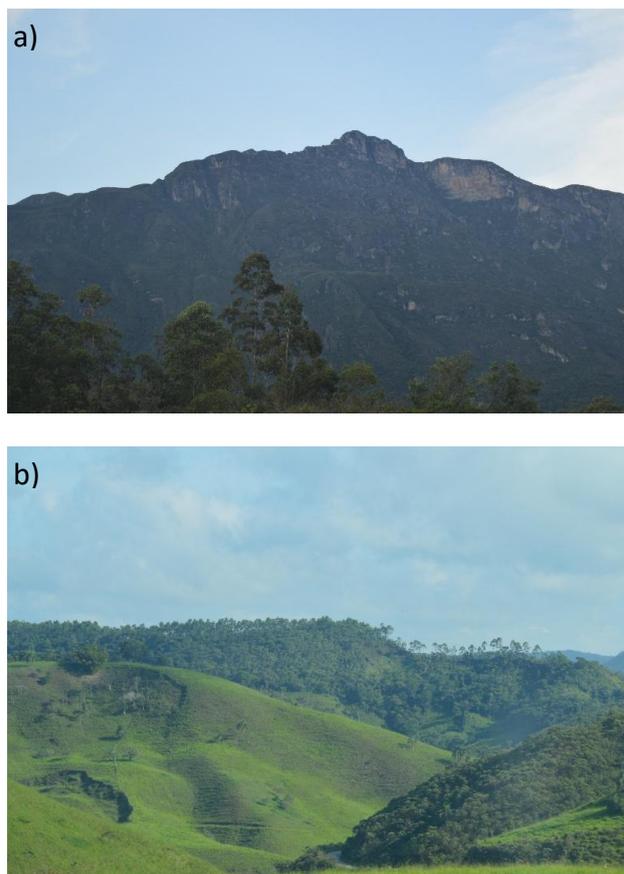


Fonte: Elaborado pelos autores, mar. 2020

As regiões de PUC Médio localizam-se predominantemente nas porções do médio curso do rio Gualaxo do Norte, até às mais próximas ao seu exutório (Figura 3). Apesar de apresentarem limitações quanto à declividade e litologia, essas áreas são compostas basicamente por Latossolos e Argissolos que estão localizados na porção Sudeste da bacia, elevando o potencial de uso da área. Latossolos e Argissolos possuem elevados potenciais de uso conservacionista, dado que estas classes apresentam bom potencial de recarga hídrica, profundidade efetiva elevada e boa drenagem. Costa *et al.* (2017a) destacaram que as referidas classes são as que mais favorecem o processo de recarga hídrica em função de suas características físicas e morfológicas, as quais facilitam o processo de percolação da água. Neste sentido, solos bem estruturados, com elevada porosidade, a exemplo dos Latossolos, são menos propícios aos processos

erosivos e permitem maior infiltração de água, quando comparados com solos que possuem estrutura pouco evoluída como os Cambissolos (PIRES, 2016). Ferreira *et al.* (1999) destacam que os Latossolos são geralmente bem desenvolvidos, profundos, com baixa densidade e elevada porosidade, sendo bem drenados devido a sua estrutura microgranular (FERREIRA *et al.*, 1999), que favorece o desenvolvimento das raízes (SILVA *et al.*, 2014), a infiltração e a retenção de água no solo. Desta forma, o PUC Médio, com predominância de solos de maior potencial, como Latossolos e Argissolos, quando bem manejados e com práticas de conservação adequadas, podem ser utilizadas de forma sustentável. Caso contrário, o potencial destas áreas poderá ser reduzido, levando-se a uma aceleração dos processos de degradação ambiental (Figura 4c).

**Figura 4:** Exemplos de paisagens de cada classe de PUC na BHRGN





Legenda: a) PUC Muito Baixo, b) PUC Baixo, c) PUC Médio, d) PUC Alto, e) PUC Muito Alto.

Fonte: Acervo pessoal dos autores, maio. 2018.

As classes de PUC Alto e Muito Alto, correspondem a cerca de 21,6% da área da BHRGN e se distribuem ao longo da bacia (Figuras 3 e 4d e 4e). A classe Muito Alta apresenta maior ocorrência nas regiões de fundos de vale, onde predominam menores declividades (0 a 8%) e solos do tipo Latossolos e Argissolos, representando assim, áreas com maior aptidão para as atividades agropecuárias, menor suscetibilidade

a processos erosivos e maior potencial de recarga hídrica. Contudo, é importante destacar que estas áreas, na sua maior parte, estão localizadas próximas aos cursos de água e, portanto, podem estas associadas às Áreas de Preservação Permanente (APPs) hídricas, sendo assim, o seu uso determinado pelas restrições legais, se existirem.

### **Considerações finais**

Ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica e de análises multicritério tornam possível a avaliação integrada de diferentes fatores que interferem no Potencial de Uso Conservacionista (PUC) de bacias hidrográficas, tornando o método de avaliação menos subjetivo e permitindo a sua automação e reprodutibilidade.

A aplicação do PUC na bacia do rio Gualaxo do Norte permitiu a identificação dos diferentes potenciais presentes na bacia, fornecendo informações que podem subsidiar a elaboração de planos, projetos e programas que auxiliem a gestão integrada da bacia, considerando os usos múltiplos atuais e o manejo adequado destes.

**Agradecimentos:** Ao Núcleo ISZA e ao Laboratório de Solos e Meio Ambiente, do Instituto de Geociências da UFMG, pelo suporte técnico e financeiro para realização deste trabalho.

### **Referências bibliográficas**

ALASKA SATELLITE FACILITY. *ASF Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products - Product guide*. Alaska, 2015. ed. 2., 12p. Disponível em: <[https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/10/rtc\\_product\\_guide\\_v1.2.pdf](https://asf.alaska.edu/wp-content/uploads/2019/10/rtc_product_guide_v1.2.pdf)>. Acesso em 28 fev. 2020.

COELHO, A. L. N. Método de Análise Hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnologia de la Información Geográfica*, Espanha, v. 1, n. 20, p. 183-199, 2017.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS - CODEMIG; SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais - Escala 1:100.000 Projeção Policônica, Datum WGS84* (2014). Disponível em: <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/?lang=en>> Acesso em 05. mar. 2020.

COSTA, A. M. C.; CARVALHO, D. C.; SALIS, H. C.; HORTA, I. M. F.; SAMPAIO, J.D.L.; VIANA, J. H. M.; PEDRAS, K. C.; EVANGELISTA, L. P.; PEREIRA, M. P. R. Ponderação de variáveis ambientais usadas na determinação dos potenciais de recarga hídrica, de uso agropecuário e de resistência a processos erosivos para o Estado de Minas Gerais. *Geografias*, v. n. 1, 2017a.

COSTA, A.M.; HORTA, I.F.H.; SALIS, H.H.C.; VIANA, J.H.M.; CARVALHO, D.C.F. Zoneamento do potencial do uso conservacionista como alternativa às unidades de paisagem para a confecção do ZAP. In: VI Workshop Internacional sobre planejamento e desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas, 2017b, Uberlândia. *Anais*.

COSTA, A. M.; SILVA L. H.; SILVA V. C.; MOURA, M. S.; MOTA, P. K.; ARAÚJO, B. J. R. S. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. *Revista Perspectiva Geográfica - Unioeste* Campus Marechal Cândido Rondon, v. 14, no. 20, p. 107-122, 2019. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/24034>>. Acesso em 09 mar. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. *ArcGIS Desktop*: Release 10.3, Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2015.

FERNANDES, M. R. et al. *Minas Gerais: Caracterização de unidades de paisagem*. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2013, P.92.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 507– 514, 1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06831999000300003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831999000300003)>. Acesso em 23 mar. 2020.

FIORI, J. P. O.; CAMPOS, J E. G.; ALMEIDA, L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do Estado de Goiás. *Geociências Unesp*, v. 29, n. 2, p. 229-235, 2010. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7152>>. Acesso em 23 mar. 2020.

GIMENES, F. B. Q.; AUGUSTO FILHO, A. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. *Anais*, Disponível em: <[mart2.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte2/doc](http://mart2.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte2/doc)>. Acesso em 05 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Folha topográfica Ouro Preto SF.23-X-A-III-4* Escala 1:50.000. Rio de Janeiro, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Malhas da estrutura territorial brasileira*. Brasil: 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em 16 dez. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE; SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL/INSTITUTO

DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS DE MINAS GERAIS - IGA. *Folha topográfica Catas Altas SF.23-X-B-I-1* Escala 1:50.000. Rio de Janeiro, 1976.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE; SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL/INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS DE MINAS GERAIS - IGA. *Folha topográfica Mariana SF.23-X-B-I-3* Escala 1:50.000. Rio de Janeiro, 1975.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Bacias estaduais ottocodificadas*. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/1246>>. Acesso em 11 mar. 2020.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY - JAXA; MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY - METI. ALASKA SATELLITE FACILITY - ASF. ASF DAAC 2011, ALOS PALSAR Radiometric Hi-Res Terrain Corrected. *Digital Terrain Model*. Includes Material JAXA/METI 2007, March 04 2011. DOI: 10.5067/JBYK3J6HFSVF Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

LEMO, R. S.; MAGALHÃES JR, A. P. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. *Revista Espinhaço*, v. 4, p. 4-12, 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/81>>. Acesso em: 27 de mar. 2020.

PIRES, Cleverson Vieira. *Dinâmica hídrica de uma sequência latossólica sob pastagem em bacia hidrográfica da zona da mata mineira*. 2016. Tese apresentada (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

QUEIROZ, A. T. E OLIVEIRA, L. A. Relação entre produção e demanda hídrica na bacia do rio Uberabinha, estado de Minas Gerais, Brasil. *Revista Sociedade & Natureza*, v. 25, p. 191- 206, 2013.

RODRIGUES, A. S. L. *Caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil [manuscrito]: avaliação geoquímica ambiental e proposição de valores de background*. Tese. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Disponível em: < <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4139>>. Acesso em

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. *Prediction, projection, and forecasting: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games, and sports*. Kluwer Academic Pub, 1991.

SAATY. T. L. *Toma de decisiones para lideres: el proceso analítico jerárquico latoma de decisiones en un complejo*. RWS Publications, 1997.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol.1, N. 1, 2008, p. 83-98.

SALIS, H. H. C.; EVANGELISTA, L. P.; COSTA, A. M.; HORTA, I. M. F. Diagnóstico da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Manso – MG, *Caminhos de Geografia*, Uberlândia v. 18, n. 64, p. 91–102, 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMAD; SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SEAPA. *Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas*. Minas Gerais. 2016.

SENA, J. N. *O Uso de Sistema de Informação Geográfica na Avaliação de Diferentes Alternativas de Geração de Cartas de Suscetibilidade à Erosão* 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira – São Paulo, 2008.

SILVA, B. M., SILVA; E. A. da.; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. E. Plant Available Soil Water Capacity: Estimation Methods and Implications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 464–475, 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/237301147\\_Estimating\\_plant\\_available\\_water\\_capacity\\_-\\_a\\_methodology](https://www.researchgate.net/publication/237301147_Estimating_plant_available_water_capacity_-_a_methodology)>. Acesso em 23 mar. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, LABORATÓRIO DE SOLOS E MEIO AMBIENTE. *Zoneamento Ambiental e Produtivo da Bacia Hidrográfica do Rio Manso - MG*. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, CENTRO DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA. *Zoneamento Ambiental e Produtivo*. Editora: Adriana Monteiro da Costa - Viçosa: UFV/CEAD, 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. *Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais*. Mapa col. 1: 600.000. Projeção Policônica, 2010. Disponível em: <[http://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](http://www.dps.ufv.br/?page_id=742)>. Acesso em: 05 de mar. 2020.