

# Uso da análise multicritério para definição de áreas prioritárias para reflorestamento na Bacia do Rio Piranga, MG, Brasil

*Use of multicriteria analysis to define priority areas for reforestation in the Piranga River Basin, MG, Brazil*

Caroline de Souza Cruz Salomão<sup>a</sup>

Luiz Gustavo de Souza Paula<sup>b</sup>

Marcos Antônio Timbó Elmiro<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil  
End. Eletrônico: carolinescsalomao2@gmail.com

<sup>b</sup>Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil  
End. Eletrônico: lgustavosouzap@gmail.com

<sup>c</sup>Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil  
End. Eletrônico: timboelmiro@gmail.com

doi:10.18472/SustDeb.v11n2.2020.30468

Received: 28/11/2019  
Accepted: 01/04/2020

ARTICLE- DOSSIER

## RESUMO

A Bacia do Rio Piranga é uma das principais sub-bacias do Rio Doce, sendo uma das mais exploradas historicamente, que culminou em um episódio emblemático, o rompimento da barragem de rejeitos de mineração em Mariana. Os responsáveis pelo dano precisaram desenvolver soluções para reparação do território, destacando-se a definição de áreas prioritárias para conservação. Um fator a considerar para essa definição foi a instituição de espaços protegidos em imóveis rurais, como as Áreas de Preservação Permanente (APPs), consolidadas pelo novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Para alocação das áreas de intervenção, foi adotada a Análise Multicritério, amplamente utilizada em processos de tomadas de decisão. Os resultados mostraram que as áreas a sudeste do Parque Estadual do Rio Doce apresentam maiores propensões a receber iniciativas de restauração de vegetação nativa. Ocorre o contrário nas regiões mais urbanizadas da bacia, que coincidem, também, com as áreas de maior declividade.

**Palavras-chave:** Análise Multicritério. Áreas de preservação permanente. Reflorestamento de vegetação nativa. Bacia do Rio Piranga.

## ABSTRACT

The Piranga River Basin is one of the main sub-basins of the Doce River, being one of the most historically explored, which culminated in an emblematic episode, the rupture of the mining tailings dam in Mariana.

*Those responsible for damage had to develop solutions to repair the territory, mainly the definition of priority areas for conservation. One factor to consider for this definition was the institution of protected spaces in rural properties, such as the Permanent Preservation Areas (PPAs), consolidated by the new Forest Code (Law No. 12,651 / 2012). For the allocation of intervention areas the Multicriteria Analysis, widely used in decision-making processes, was adopted. The results showed that the areas southeast of the Doce River State Park are more likely to receive initiatives to restore native vegetation. The opposite occurs in the more urbanized regions of the basin, which are also coincident with the steepest areas.*

**Keywords:** Multicriteria analysis. Permanent preservation areas. Reforestation of native vegetation. Piranga River Basin.

## 1 INTRODUÇÃO

As técnicas de gestão direcionadas às práticas de planejamento são fundamentais para o desenvolvimento de projetos de cunho ambiental, seja para gerar conhecimentos sobre os territórios contemplados, seja para organizar os recursos e formular as propostas e as decisões mais adequadas para os trabalhos. De uma maneira geral, tais práticas de planejamento incluem documentos e materiais que compõem um diagnóstico para as primeiras análises. Para a construção das fases subsequentes, voltadas para os prognósticos, é pertinente definir adequadamente os critérios que embasarão as variáveis observadas no diagnóstico.

Esse processo torna-se complexo quando o número de atores envolvidos e interessados é grande. Para contornar esses tipos de dificuldade, foram desenvolvidas algumas técnicas que buscam simplificar essa organização de informações e determinam onde as ações ambientais precisariam ocorrer, ainda mais levando em consideração recortes geográficos de extensão considerável, como as bacias hidrográficas.

Outra questão ecológica e regulatória a se considerar na definição das áreas prioritárias para conservação em bacias hidrográficas é a instituição de espaços protegidos dentro de imóveis rurais com o objetivo geral de compensar os usos econômicos indevidos desenvolvidos nessas propriedades. Além disso, vários especialistas ressaltam que as áreas públicas sob proteção são insuficientes para a conservação da biodiversidade do planeta, outra justificativa para a instituição desses territórios (GOTTFRIED et al., 1996).

Dessa forma, o novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) trouxe a consolidação de dois instrumentos de recomposição e uso sustentável da vegetação nativa dentro dos imóveis rurais, as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as de Reserva Legal (RL). O cenário atual é de intensa degradação e exploração dessas áreas, seja pela ocupação urbana, seja por atividades agropecuárias. Para isso, tornam-se necessárias ações para restauração ambiental desses sistemas a fim de retomar as suas condições iniciais e para que possam fazer a função ecológica para a qual foram criados. Nunes et al. (2017) classificaram o processo de restauração florestal em três grupos: passivo, intermediário e ativo, a depender da estratégia que será adotada. Cita-se como passivo a regeneração natural, como intermediário a condução da regeneração e o enriquecimento, e como ativo o reflorestamento de espécies com ou sem finalidade econômica. O foco do estudo é o reflorestamento com espécies sem finalidade econômica.

Nesse sentido, a análise multicritério tem sido amplamente utilizada com objetivo de descomplicar determinados processos de tomadas de decisão (FRANCO et al., 2013). Ferraz e Vettorazzi (2003); Francisco et al. (2008); Sartori (2012); Uribe (2014); Valente (2005); Valente e Vettorazzi (2017); e Vettorazzi (2006) já desenvolveram estudos para definição de áreas prioritárias para reflorestamento, sem fins econômicos, utilizando a análise de multicritério como ferramenta para essa escolha, e tiveram resultados satisfatórios em suas pesquisas.

Vale destacar que, para restauração das APPs localizadas na área de estudo, algumas premissas são assumidas e poderão nortear a escolha das variáveis e o processo da análise de multicritério. APPs localizadas próximas a centros urbanos ou rodovias possuem um histórico de degradação maior e, por

essa razão, deverão ser priorizadas. Por outro lado, algumas condições geográficas devem ser levadas em consideração. Áreas com solos mais férteis serão priorizadas por terem maior facilidade de se concluir o processo de restauração, assim como áreas localizadas em maior declive e com solos mais susceptíveis à erosão devem ser priorizadas por terem uma maior tendência a se degradar com as ações antrópicas e naturais. Por fim, o presente artigo tem como objetivo identificar áreas prioritárias para reflorestamento em APPs na Bacia do Rio Piranga.

## 2 METODOLOGIA

A descrição metodológica do estudo foi dividida em quatro itens, sendo a primeira dedicada à caracterização geográfica do recorte em estudo, a segunda ao *status* regulatório necessário à análise e, por fim, a terceira e a quarta explicitando o modelo em questão, sua metodologia, processamento, variáveis e pesos. Segue um organograma demonstrando cada uma das etapas citadas acima (Figura 1).

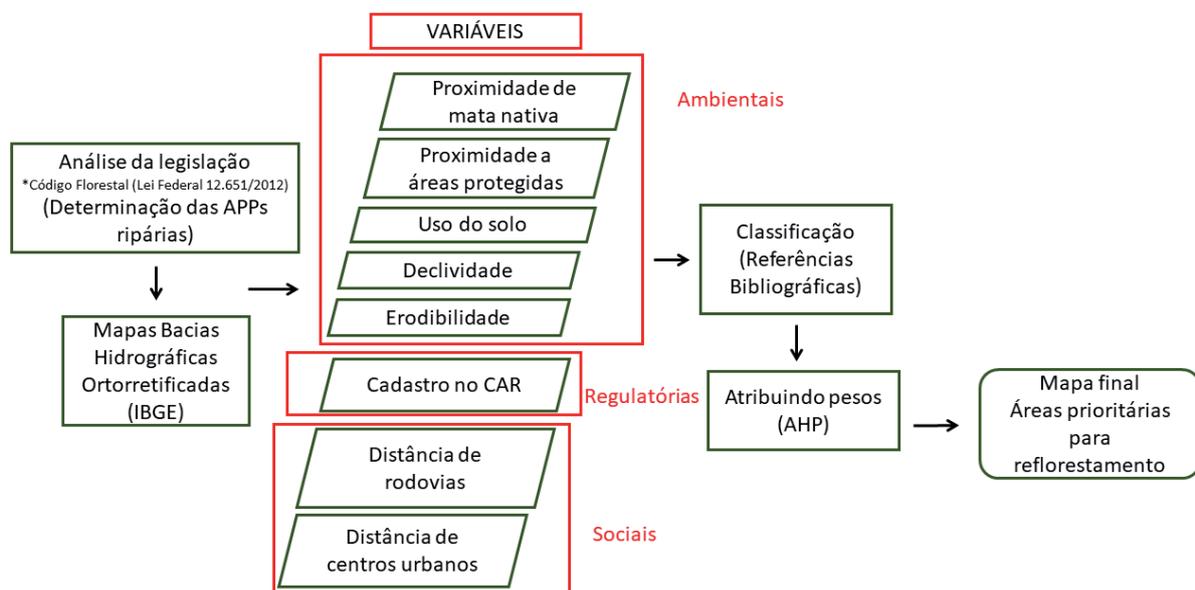


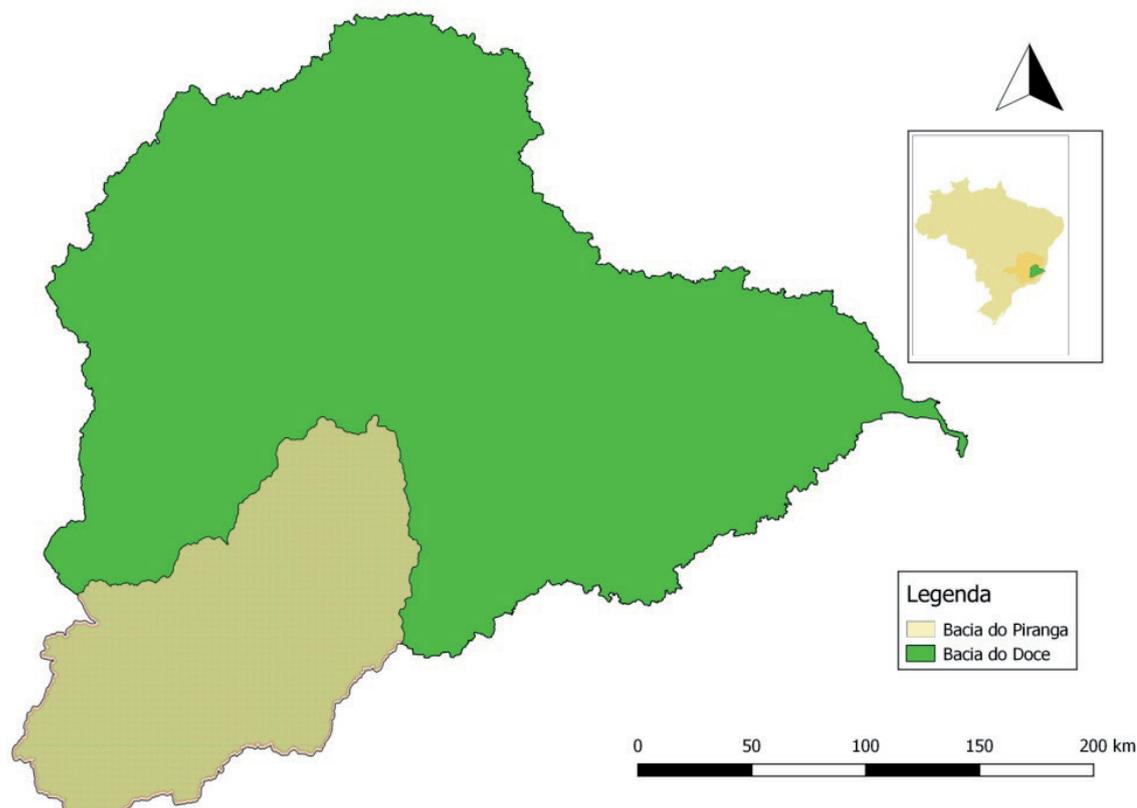
Figura 1 | Organograma metodológico

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Bacia do Rio Piranga (Figura 2) localizada na parte sudoeste da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, no estado de Minas Gerais. Inclusive, é a continuação do Rio Piranga que recebe o nome de Rio Doce, após receber as águas do Rio Carmo, dessa forma, sendo o seu principal rio formador. A Bacia do Piranga contém 77 municípios, e 62 destes possuem suas sedes localizadas dentro da área de contribuição. Sua população é de 711.026 habitantes (480.882 urbana e 230.144 rural), segundo dados do IBGE/Censo 2010, em uma área total de 17.562,5 km<sup>2</sup>, representando cerca de 25% da Bacia do Rio Doce. A principal área de conservação da biodiversidade da Bacia do Rio Doce é o Parque Estadual do Rio Doce (Perd), que também está dentro da área da Bacia do Piranga.

As nascentes do Rio Piranga situam-se na Serra da Mantiqueira, no município de Ressaquinha, e seus principais afluentes são os rios Xopotó e Turvo Limpo. Possui duas usinas hidrelétricas – UHE Brecha, no município de Guaraciaba, e PCH Brito, em Ponte Nova, além de ter uma atividade industrial e produtiva relativamente intensa, incluindo produção mineral, onde podemos apontar também a Mineradora Samarco.



**Figura 2 | Bacia do Rio Piranga**  
*Fonte: Elaborada pelos autores (2018).*

No que tange às atividades econômicas predominantes na Bacia, apesar de toda a extensão da Bacia do Rio Doce se destacar como uma bacia leiteira, denotada pelos altos números de rebanhos bovinos (PPM, 2018), os municípios a nordeste da Bacia do Rio Piranga compõem uma importante região econômica local e estratégica do ponto de vista logístico para todo o estado de Minas Gerais, a região do Vale do Aço.

Além disso, entre 1920 e 1930 a região foi escolhida em Minas Gerais para receber a cultura do eucalipto por meio de programas governamentais e incentivo de usinas siderúrgicas. Um exemplo foi a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, e posteriormente a Acesita, em 1949. A empresa foi a pioneira na criação de serviços florestais na região e impulsionou outras empresas subsidiárias a operarem no setor de reflorestamento (GUERRA, 1995). Tal perfil pode ser evidenciado pelo mapa de uso e ocupação do solo da Bacia – Modelo Otimizagro (SOARES FILHO et al., 2013), onde é possível identificar grandes extensões voltadas para a silvicultura (525.766 ha).

Como consequência desse uso e ocupação do solo, a Bacia do Rio Piranga, assim como todo o território da Bacia do Rio Doce, possui um histórico de intensa degradação do solo e uso inadequado dos seus recursos naturais, como a água. Como últimos dados, o território, em quase toda a sua extensão, 83,3%, foi classificado como moderadamente degradado ou degradado (UFMG; UFV; FUNDAÇÃO RENOVA, 2018), e a Bacia do Rio Piranga localiza-se nesse recorte.

Em 2015, com o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no município de Mariana e de operação da empresa Samarco, tal cenário agravou-se. De acordo com Pires et al. (2017), 40 a 63 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos oriundos da mineração foram dispostos no rio e tiveram como consequências, além da destruição de distritos total ou parcial, como Bento Rodrigues, Paracatu e Gesteira, perdas na biodiversidade, perdas econômicas para as populações ribeirinhas e uma poluição intensa de todo o Rio Doce (Figura 3).

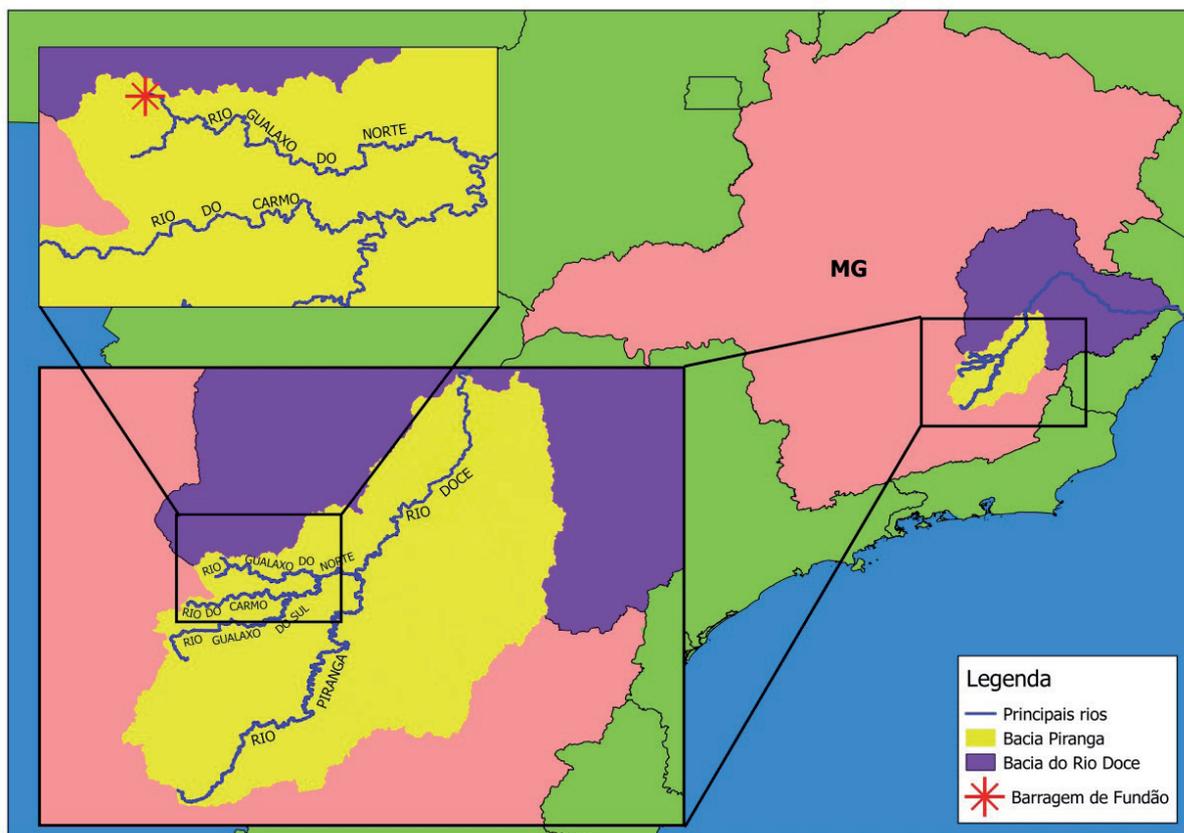


Figura 3 | Caminho da lama desde o município de Mariana

Fonte: EPSJV/Fiocruz

Segundo Fernandes et al. (2016), o acontecimento foi a última gota em um processo de degradação duradouro, que afetou o provisionamento de serviços ecossistêmicos para mais de 1 milhão de pessoas, com uma perda estimada em US\$ 5,21 bilhões por ano na região (GARCIA et al., 2017). A restauração florestal, foco do estudo dessa área, é um dos mecanismos capazes de garantir a qualidade e a quantidade da água na Bacia do Rio Doce.

## 2.2 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE CURSOS DE ÁGUA

O Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) trouxe a consolidação de dois instrumentos de recomposição e uso sustentável da vegetação nativa dentro das propriedades privadas rurais: as Reservas Legais (RL) e as Áreas de Preservação Permanente (APPs). De acordo com o Código Florestal, as APPs são definidas como: “a área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Inciso III, do art. 3º da Lei 12.651/2012). Nesse sentido, fica clara a necessidade de preservação e restauração dessas áreas.

Essas áreas, cobertas ou não por vegetação nativa, localizam-se às margens de rios e outros corpos-d’água em faixas de largura variável, nas encostas íngremes, topos de morro, além de outros locais especificados pela lei. Todavia, o cenário atual é de intensa degradação e da ocupação dessas áreas protegidas para atividades agropecuárias e uso urbano. Segundo dados de Soares Filho et al. (2014), o passivo ambiental de APPs é de aproximadamente 220.000 hectares para todo o Brasil, e esse cenário ainda é pior no bioma Mata Atlântica, bioma que ocupa mais de 98% da Bacia do Rio Doce, onde restam apenas 12% a 16% de cobertura vegetal nativa. Vale ressaltar que, ao avaliar o passivo, com imagens de maior resolução e malha hidrográfica mais adensada, este pode aumentar.

O novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) ainda trouxe mudanças no estabelecimento dessas APPs. De acordo com o artigo 4º, inciso I, define-se como área de APP as faixas marginais de todo curso-d'água natural, perene ou intermitente, desde a borda do leito regular, em largura mínima que pode variar de 30 m a 500 m, de acordo com a largura do rio entre menos de 10 m a mais de 600 m, respectivamente.

A Lei Federal 12.651/2012 também explicita quais áreas deverão realizar a recomposição florestal e qual método utilizar. De acordo com o dispositivo 13 do artigo 61A, a recomposição nas faixas marginais poderá ser feita isolada ou conjuntamente, por meio de:

- I - condução de regeneração natural de espécies nativas;
- II - plantio de espécies nativas;
- III - plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas;
- IV - plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recomposta, no caso dos imóveis rurais com até 4 módulos fiscais, bem como às terras indígenas demarcadas e às demais áreas tituladas de povos e comunidades tradicionais que façam uso coletivo do seu território (BRASIL, 2012, Art. 3, inciso I a IV e Parágrafo Único).

Essas três formas de recomposição fazem alusão a três processos de restauração classificados por Nunes et al. (2017), como passivo, intermediário e ativo. A restauração passiva ou regeneração natural trata-se de um processo de sucessão natural com a mínima intervenção antrópica (HOLL; AIDE, 2011). Trata-se de um processo lento, mas de baixo custo. Já o ativo trata-se de um processo de restauração por plantio total com espécies nativas sem fins econômicos, sendo essa técnica o foco do presente artigo.

Para que uma área de APP cumpra minimamente suas funções ambientais, conforme determina o Código Florestal, seu uso deve ser compatível com o regime de preservação da vegetação nativa previamente existente. Nesse sentido, o mapeamento do uso e cobertura da terra, preferencialmente em alta resolução espacial, é um importante instrumento para a análise da conformidade legal na escala das propriedades rurais e da paisagem, como no caso da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. A Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizam mapas da hidrografia de todo o País, porém a escala de 1:100.000 ou inferior presente nesses mapas não permite uma análise detalhada da Bacia do Rio Doce. Por isso, foi utilizado neste estudo o mapeamento da rede hidrográfica realizado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), por meio de classificação supervisionada de imagens *RapidEye* para o ano de 2013, na escala de 1:10.000, produzindo mapas de uso e cobertura na escala de 1:20.000.

## 2.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

A espacialização representa um dos métodos mais eficientes e econômicos no manejo de bacias hidrográficas, principalmente quando é necessário executar uma priorização de áreas. De forma prática, trata-se de uma integração de diferentes planos de informação da paisagem e suas características e, ou, processos, juntamente com os Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (VALENTE, 2005). Nesse sentido, surge a Análise de Multicritério (AMC), que, segundo Malczewski (2004), pode ser descrita como um processo que transforma e combina dados espaciais e não espaciais resultando em uma decisão.

A AMC como metodologia se fundamenta na observação de alternativas para esclarecimento de questões, onde são utilizados diferentes critérios envolvidos com determinado objeto de estudo, com objetivo de identificar as melhores opções disponíveis dentro do universo analisado (FRANCISCO et al., 2007 apud FRANCO et al., 2013). Essa análise fundamenta-se em critérios que podem ser fatores e restrições, e podem referir-se a atributos individuais ou ao conjunto todo. Apesar de a seleção dos

critérios e a definição da importância relativa de cada um deles apresentarem certo grau de subjetividade, os resultados obtidos têm apresentado uma grande coerência com a realidade (VETTORAZZI, 2006).

Dessa forma, para definição dos pesos da AMC, que irá orientar a formulação da análise final, uma das principais técnicas utilizadas é o Processo Analítico Hierárquico (AHP), no qual os pesos são atribuídos de acordo com a sua importância relativa. De acordo com Souza et al. (2013), essa técnica se baseia na identificação de um problema de decisão e na sua decomposição em “subproblemas”, onde cada um pode ser analisado de forma independente (SILVA JÚNIOR, 2015).

A atribuição de pesos aos critérios consiste em definir a quantificação da importância de cada um deles no processo de decisão. Vários métodos foram desenvolvidos para auxiliar a definição dos pesos de compensação dos fatores, entre eles o da ordenação, da escala de pontos, da distribuição de pontos e do método baseado na comparação de critérios dois a dois (RAMOS; MENDES, 2001). Para elaboração da matriz de comparação, os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando como referência Eastman (2001), a escala contínua de nove pontos (Tabela 1). Os pesos de compensação, que expressam a importância, ou ordem de importância dos fatores no processo de tomada de decisão, foram determinados com base na revisão de literatura, em projetos desenvolvidos na Técnica Participatória.

**Tabela 1 | Intensidade da importância entre critérios**

<i>Intensidade da importância</i>	<i>Definição e explicação</i>
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais

*Fonte: Adaptada de Eastman (2001).*

O software utilizado para realização do método de análise multicritério foi o ArcGIS.

## 2.4 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS E DOS PESOS UTILIZADOS

No período de 2002 a 2017 muitos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de identificar áreas prioritárias para conservação por análise de multicritério. Nesse processo, uma das etapas metodológicas mais importantes é a definição das variáveis. Nesse sentido, podemos ressaltar como fundamentação para escolha das bases os trabalhos de Bertoni e Lombardi (1985); Borges (2009); Ferraz e Vettorazzi (2003); Francisco (2006); Lima et al. (2011); e Mannigel et al. (2002).

Além disso, Uribe (2014) apresenta um estudo no qual a escolha das variáveis se deu por meio de entrevistas com as partes interessadas em uma área na porção sul do México, de 11.631 km<sup>2</sup>, contemplando integralmente ou parcialmente (50%) 124 municípios. Segue a Tabela 2 detalhando quais as variáveis de destaque segundo a porcentagem em que elas apareceram nas entrevistas.

**Tabela 2 | Ranking dos critérios para AHP mais citados nas entrevistas**

<i>Ranking</i>	<i>Critério</i>	<i>Citação</i>
1	Distância de fragmento florestal	64,3
2	Uso do solo e mudanças no uso deste	57,1
3	Risco de erosão (erodibilidade do solo e erosividade pela chuva)	53,6
4	Índice de biodiversidade e corredores naturais	46,4
5	Declividade	42,9
6	Distância de cultivos	39,3
7	Densidade demográfica, distância de rodovias, distância de rios	35,7
8	Distância de assentamentos humanos, índice de marginalidade e capital social	32,1
9	Profundidade do solo	28,6
10	Posse de terra (CAR)	17,9
11	Distância de áreas protegidas (APPs)	10,7
12	Fertilidade do solo	7,1
13	Distância de fontes pontuais de emissão de gases de efeito estufa, taxa de migração, fragmentação florestal, precipitação, presença de gado, uso da biodiversidade, temperatura	3,6

*Fonte: Adaptada de Uribe et al. (2014).*

A ação destes *stakeholders* (proprietários da terra, associações de desenvolvimento local, etc.) no processo decisório é legítima e necessária, já que são eles os agentes do processo de restauração florestal. Além disso, acaba por trazer uma abordagem transdisciplinar integrando o conhecimento científico e os saberes locais. Esses usuários ou grupos de interesse da bacia estão ligados diretamente às atividades primárias de desenvolvimento e/ou conservação, já que usufruem da paisagem para sua subsistência estando assim diretamente vinculados à geração de serviços ecossistêmicos. Este tipo de estudo traz uma metodologia de construção de políticas *bottom-up*, que são consideradas mais efetivas para manutenção de áreas restauradas, ao contrário das *top-down*, que trazem para discussão critérios estritamente técnicos (LINDBORG et al., 2008).

Dessa forma, para o presente artigo, foram escolhidas as variáveis e segmentadas por tipologias (ecológico, regulatório e social) com o respectivo estudo utilizado para embasá-las (Tabela 3).

**Tabela 3 | Variáveis escolhidas**

<i>Crítérios</i>	<i>Tipo</i>	<i>Fonte</i>
Proximidade à mata nativa	Ecológico	Catelani et al. (2012); Franco, Hernandez e Moraes (2013); Orsi, Geneletti e Newton (2011)
Proximidade a áreas protegidas		Orsi e Geneletti (2010); Valente e Vettorazzi (2008)
Uso do solo		Catelani et al. (2012); Franco, Hernandez e Moraes (2013); Orsi, Geneletti e Newton (2011)
Declividade		Sartori (2012); Valente, Petean e Vettorazzi (2017); Valente e Vettorazzi (2008)
Erodibilidade		Bertoni e Lombardi Neto (1990); Mannigel et al. (2002)
Cadastro do imóvel (CAR)	Regulatório	Uribe et al. (2014)
Distância de rodovias	Social	Fabbro Neto et al. (2014); Valente e Vettorazzi (2008)
Distância de centros urbanos		Fabbro Neto et al. (2014); Uribe et al. (2014); Valente e Vettorazzi (2008)

*Fonte: Elaboração dos autores (2018).*

Quanto à atribuição das notas e à consequente classificação, as áreas foram segmentadas em alta, média e baixa prioridade para o reflorestamento. Segue abaixo a descrição de alguns dos critérios e como se deu essa atribuição segundo os autores citados:

- Declividade: a declividade é importante porque quanto maior seu índice, maior o risco de erosão, o que torna as áreas mais íngremes mais interessantes ao reflorestamento, e também possuem menor a propensão para o uso agrícola, o que também favorece as áreas menos planas terem uma prioridade maior ao plantio de espécies nativas.
- Uso do solo: o uso do solo é indicador de áreas favoráveis ou até mesmo impróprias. Exemplos de áreas que não se aplica a possibilidade de reflorestamento com espécies nativas são as áreas que já são cobertas por árvores nativas, áreas urbanas, rodovias e superfícies cobertas por água. Silviculturas e áreas tradicionalmente agrícolas também não são favoráveis.
- Susceptibilidade à erosão: o reflorestamento é uma ferramenta de combate à erosão. Portanto, sua implantação torna-se mais interessante em lugares onde ocorre este tipo de problema, tendo em vista que onde há erosão, geralmente, também não há outros tipos de interesse de cunho econômico.
- Erodibilidade: usou-se como referência o fator de erodibilidade do solo K (t.ha.h./ha.MJ. mm), onde: t = tonelada, ha = hectare, h = hora, MJ = mega joule e mm = milímetro. Sua determinação requer visitas e validações em campo, de acordo com as condições locais. Devido à inexistência desses dados, utilizaram-se fatores estimados a partir das características dos solos, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1985, 1990) e Mannigel (2002).
- Proximidade às matas nativas: o reflorestamento com espécies nativas é favorecido pela proximidade de outras matas nativas, uma vez que isso implica na conectividade ecológica. Dessa forma, utilizou-se a variável que compõe as faixas de áreas que apresentam até 50 metros de distância das matas nativas já existentes nas APPs pesquisadas.
- Proximidade às áreas urbanas: a proximidade de áreas urbanas não é um fator favorável à implantação de reflorestamentos de mata nativa, de uma maneira geral. Isso se deve ao fato de que, geralmente, a expansão urbana e a especulação imobiliária são fatores de considerável pressão e desfavorecem a sustentabilidade dessas áreas. Dessa maneira, utilizou-se a variável que compõe as faixas de áreas que apresentam até 200 metros de distância das áreas urbanas presentes nas APPs pesquisadas.
- Proximidade às rodovias: de modo análogo ao explicitado no item anterior, a proximidade às rodovias também é um fator considerado desfavorável. Assim, utilizou-se a variável que compõe as faixas de áreas que apresentam até 200 metros de distância das rodovias.

Após o estudo prévio das variáveis, foram selecionados os mapas a serem utilizados na análise de multicritério. Como processo foi feita a reclassificação dos mapas selecionados atribuindo-se nota para cada classe, conforme já exposto anteriormente. Ao final foram dados pesos para cada uma das variáveis separadas de acordo com os autores citados pelo método AHP. A Tabela 4 expressa os pesos finais utilizados na análise final.

**Tabela 4 | Pesos finais utilizados na análise final**

	<i>Prox. veg. nativa</i>	<i>Declividade</i>	<i>Erodibilidade</i>	<i>Prox. áreas urb.</i>	<i>Uso do solo</i>	<i>Possui CAR</i>	<i>Pesos</i>
Prox. veg. nativa	1	-	-	-	-	-	0,28
Declividade	5	1	-	-	-	-	0,12

	Prox. veg. nativa	Declividade	Erodibilidade	Prox. áreas urb.	Uso do solo	Possui CAR	Pesos
Erodibilidade	7	9	1	-	-	-	0,18
Prox. áreas urbanas e rodovias	3	3	3	1	-	-	0,17
Uso do solo	7	5	7	7	1	-	0,15
Possui CAR	7	7	5	3	5	1	0,10

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados diferenciam dos outros da literatura, vistos em estudos como Francisco (2006) e Ferraz e Vettorazzi (2003), no momento em que se tem como desafio a grande extensão da bacia escolhida, já que a maioria das pesquisas foram desenvolvidas para pequenas bacias. Outra diferença é o foco para as áreas de proteção permanente de cursos de água. Para isso foi necessário um intenso trabalho de sensoriamento remoto devido às grandes diferenças de larguras entre os cursos-d'água encontrados na bacia.

De forma prática, em uma visão geral, a Figura 4 mostra que as áreas a sudeste do Parque Estadual do Rio Doce apresentam maiores propensões a receber as iniciativas de restauração com espécies nativas. Ocorre o contrário nas regiões mais urbanizadas da bacia e também nas de menor densidade de vegetação nativa, estas últimas coincidem com as áreas de relevo mais declivoso.

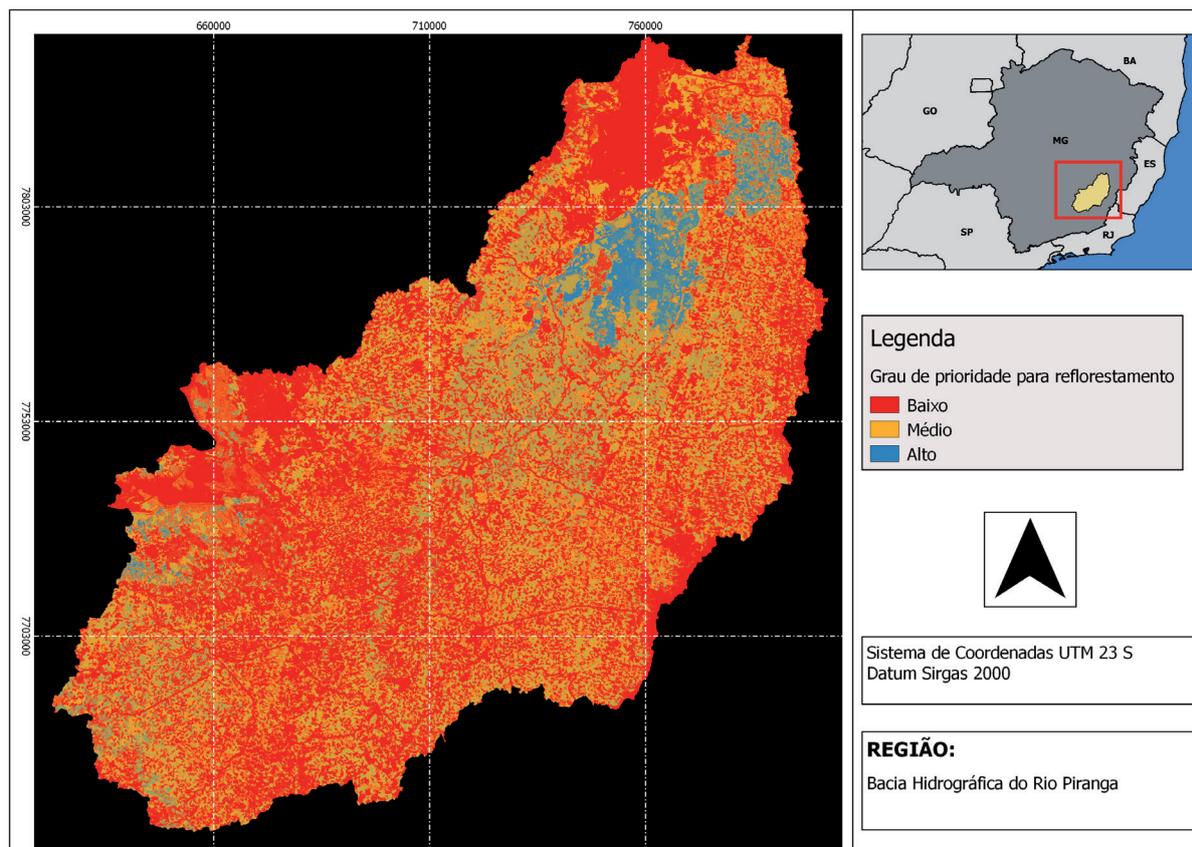


Figura 4 | Mapa de Áreas Prioritárias

Fonte: Elaborada pelos autores (2018).

Entretanto, entende-se que o presente estudo é de grande importância devido ao cenário histórico de degradação das atividades agropecuárias nesses territórios de proteção, principalmente se levadas em consideração a importância ambiental dessas áreas (recarga hídrica, contenção de processos erosivos, estocagem de carbono e refúgio da fauna) e a urgência para que sejam reestabelecidos os processos ecológicos pós-rompimento da barragem de rejeitos em Mariana.

Outro ponto a discutir é que o reflorestamento é apenas uma das estratégias de restauração que podem ser citadas. Existem também os plantios com fins econômicos, normalmente trata-se de um mix de espécies exóticas e nativas, que podem ser escolhidas de acordo com a vontade do agricultor e também a partir de características edafoclimáticas do território. Nesse sentido, cita-se que cada um desses formatos para restauro apresentam peculiaridades que podem demandar outras variáveis que as utilizadas neste estudo e evidenciar outras abordagens necessárias para a cadeia da restauração, como a necessidade de investimento em viveiros, capacitação da mão de obra local, etc., já evidenciados por outros estudos (SALOMÃO, 2019).

Todavia é necessário destacar que não houve a validação desses resultados em campo, porém alguns indicativos podem nos dizer sobre a coerência dos resultados. Um dos critérios considerados na análise como facilitador da restauração foi a proximidade da vegetação nativa e o uso do solo. No âmbito da paisagem, a conectividade com fragmentos florestais pode propiciar o fluxo gênico e acelerar o processo de restauração (NUNES et al., 2017). Esse ponto acaba por explicar a concentração das atividades no entorno do Perd, que é uma Unidade de Conservação estadual.

Outra questão é quanto à proximidade da malha viária. O acesso no entorno do Parque, pela LMG-760, é limitado. A rodovia mais próxima teve um processo de licenciamento ambiental conturbado e somente no ano de 2018 retomou o processo de pavimentação. E um terceiro ponto seria a característica pedológica da região, o latossolo amarelo é a classificação dominante. Esses solos são profundos e bem estruturados, sendo atrativos para o plantio de espécies nativas, porém pobres em nutrientes para culturas (CONSÓRCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

Além disso, outra questão necessária nessa validação *in loco* é a participação popular. Esse controle social é determinante para que de fato se atinja a restauração. Se o proprietário rural não se sentir parte do processo, muito dificilmente no médio e longo prazo se terá sucesso. Por essa razão, um processo “*bottom up*” se faz necessário desde a construção de políticas públicas, como o Programa de Regularização Ambiental – PRA, conforme visto em Salomão (2019).

## 4 CONCLUSÕES

Como próximos passos da pesquisa realizada, indica-se o desenvolvimento de alguns cenários que podem influenciar inclusive as políticas públicas. O primeiro cenário a ser traçado tem como objetivo, segundo Soares Filho et al. (2016), verificar qual a porcentagem de áreas prioritárias para restauração encontra-se em áreas em débito de acordo com o Código Florestal e estabelecer uma hierarquização municipal. Para isso, serão resgatados os mapas dos citados autores e estabelecida uma análise de quais municípios estão com maior débito e como isso pode ser em parte solucionado pelo modelo. Para o segundo cenário, será realizada uma avaliação da extensão das áreas prioritárias para restauração passiva e contrastar com qual extensão está prevista em instrumentos para recuperação da Bacia do Rio Piranga. Como instrumento, cita-se o Plano Diretor de Bacias e também o Programa de Recuperação de APPs estabelecido no Termo de Transação de Ajustamento de Conduta – TTAC firmado entre entes públicos e privados devido às consequências do Rompimento da Barragem de Fundão.

## REFERÊNCIAS

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Ícone, 1985.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. São Paulo: Ícone, 1990.

BORGES, L. A. C. et al. Evolução da Legislação Ambiental no Brasil. **Rama: Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, PR, v. 2, p. 447-466, 2009.

BRASIL. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 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 no 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.

EASTMAN, J. R. **Decision support: decision strategy analysis**. Idrisi 32 Release 2: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001.

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v.14, n. 2, p. 35-45, 2016.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, 2003.

FRANCISCO, C. E. F. **Áreas de preservação permanente na Bacia do Ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2006.

FRANCISCO, C. E. S. et al. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p.1-13, 2008.

FRANCISCO, C. E. S. et al. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, p. 2643-2650, 2007.

FRANCO, G. B. et al. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**, São Paulo, v. 42, suppl. 1, p. 114-127, 2013.

GARCIA, L. C. et al. Brazil's worst mining disaster: corporations must be compelled to pay the actual environmental costs. **Ecological Applications**, v. 27, n. 1, p. 5-9, 2017.

GOTTFRIED, R.; WEAR, D.; LEE, R. Institutional solutions to market failure on the landscape scale. **Ecological Economics**, v. 18, n. 2, p. 133-140, 1996.

GUERRA, C. **Meio ambiente e trabalho no mundo do eucalipto**. 2. ed. Belo Horizonte, Agência Terra, 1995.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore eco-systems? **For. Ecol. Manage**, v. 261, p. 1558-63, 2011.

LIMA, L. P. Z. et al. Análise da vulnerabilidade natural para implantação de unidades de conservação na microrregião da Serra de Carrancas, MG. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 151-159, 2011.

LINDBORG, R. et al. A landscape perspective on conservation of semi-natural grasslands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 125, n. 1-4, p. 213-222, 2008.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

NUNES, et al. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. **Environ. Res. Lett.**, v. 12, n. 044022, 2017.

PESQUISA DA PECUÁRIA MUNICIPAL. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>>. Acesso em: ago. 2019.

PIRES, A. P. F. et al. Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 3, p. 187-193, 2017.

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação de aptidão do solo para localização industrial: o caso de Valença. **Revista Engenharia Civil**, v. 10, n. 1, p. 7-29, 2001.

SALOMÃO, C. S. C. **Sistemas agroflorestais como estratégia para restauração ecológica da Bacia do Rio Doce**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2019.

SILVA JUNIOR, C. H. L. Lógica Fuzzy e Processo Analítico Hierárquico (AHP) aplicados ao Zoneamento de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos: uma revisão. **Revista Monografias Ambientais – Remoa**. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, v. 14, n. 3, p. 42-58, 2015.

SOARES FILHO, B. S.; RODRIGUES, H.; FOLLADOR, M. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models Environ. **Modell Software**, v. 43, p. 80-87, 2013.

SOARES FILHO, B. S. et al. **Modelagem das Oportunidades Econômicas e Ambientais do Restauo Florestal sob o Novo Código Florestal**. Impacto de políticas públicas voltadas à implementação do novo Código Florestal. Relatório de Projeto. Centro de Sensoriamento Remoto, UFMG, Belo Horizonte-MG, 2014.

SOUZA, D. F. DE et al. **Aplicação do método AHP-Fuzzy**. ENCONTRO NACIONAL DOS ESTUDANTES DE MATEMÁTICA DA REGIÃO SUL, 2010. Porto Alegre/RS. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/erematsul/comunicacoes/10DEBORAFERRODESOUZA.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

UFMG; UFV; FUNDAÇÃO RENOVA. **Definição de áreas prioritárias para restauração florestal na Bacia do Rio Doce**, 2018.

URIBE, D. et al. Integrating Stakeholder Preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities. **Sustainability**, v. 6, p. 935-951 2014.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para a conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicritério em ambiente SIG**, 2005. 121 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VALENTE, R. A.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria Decision Analysis for Prioritizing Areas for Forest Restoration. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 53-60, 2017.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritério em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos**. 151 f. Tese (Livre Docência em Topografia) – Escola Superior de Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.