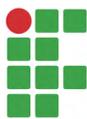


Gestão de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Claro - Minas Gerais

Joyce Silvestre de Sousa
Gilberto Coelho



editora
IFTM



**INSTITUTO
FEDERAL**
Triângulo Mineiro



Gestão de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Claro - Minas Gerais

Joyce Silvestre de Sousa
Gilberto Coelho

Reitor

Marcelo Ponciano da Silva

Diretoria de Comunicação Social e Eventos

Ana Clara Santos Costa

Coordenação da Editora IFTM

Carla Regina Amorim dos Anjos Queiroz

Coordenação de Comunicação Social

Danilo Silva de Almeida

Conselho editorial da Editora IFTM

Ana Clara Santos Costa	Guilherme de Freitas Borges
André Luiz França Batista	Gyzely Suely Lima
Antenor Roberto Pedroso da Silva	Helio Aparecido Lima Silva
Carla Regina Amorim dos Anjos Queiroz	Isaura Maria Ferreira
Carlos Magno Medeiros Queiroz	Jaqueline Maissiat
Carlos Paula Lemos	Joyce Pereira Takatsuka Sodero
Carolina Pimenta Mota	Larissa Vieira de Melo
Claudio Marcio de Castro	Livia Letícia Zanier Gomes
Daniela Beatriz Lima Silva Viana	Márcia Aparecida Bellotti Camborda
Danielle Freire Paoloni	Mariana Duó Passerini
Danilo Silva Almeida	Mariângela Castejon
Ernani Viriato de Melo	Marina Robles Angelini
Fernanda Faustino Nogueira Nunes	Paulo Irineu Barreto Fernandes
Flávio Caldeira Silva	Renato Paulino Borges
Geraldo Gonçalves de Lima	Rosiane Maria Silva

Obra aprovada de acordo com o Edital 02/2023 REITORIA/DCSE/EdIFTM

Projeto Gráfico

Danilo Silva de Almeida

Revisão Textual e

Normalização

Fernanda Faustino N. Nunes
Magda Stella de Melo Martins
Mariângela Castejon

Diagramação

Marcos Roberto Capuci Lima

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S725g Sousa, Joyce Silvestre de
Gestão de recursos hídricos na Bacia do Rio Claro - Minas Gerais /
Joyce Silvestre de Sousa, Gilberto Coelho. -- Uberaba: Editora IFTM,
2024.
134 p. : il.

Publicação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Triângulo Mineiro – IFTM.
Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-999569-8-0

1. Bacias hidrográficas. 2. Desenvolvimento de recursos hídricos –
Rio Claro, Bacia (MG). I. Coelho, Gilberto. II. Título.

CDD 333.910098151

Aos nossos pais, irmãos e amigos.

Ao despertar da consciência ambiental de toda a humanidade.

A todos os seres sencientes da bacia do Rio Claro-Minas Gerais.

Dedicamos.

< Voltar para a capa

“Rio vem, rio vai. Cachoeira, pedreira, correnteza, ribanceira, e o rio vai. E a chuva cai aumentando o volume do rio. Sorrio quando vejo o rio sorrindo com a chuva que cai. E a gente olha pro rio, pesqueiro, pescado. Bagre, piau, lambari, pirambé, surubim, pintado. O rio é magia, o rio é vapor chorado. O rio de noite e de dia, correndo pro mesmo lado. Pororoca, o encontro, estrondosa beleza. Piracema, chegar à nascente nadando contra a correnteza. Afluência, confluência, a ciência do rio é uma incerteza. Certamente, cientificamente, o rio é algo além da certeza.”

Rio, por Luiz Salgado.

Prefácio

Compreender a interação entre a vegetação e os recursos hídricos é de fundamental importância para a gestão sustentável de bacias hidrográficas, como é o caso da Bacia do Rio Claro, localizada em Minas Gerais. A relação intrínseca entre a vegetação e os recursos hídricos desempenha um papel crucial na manutenção dos ecossistemas aquáticos e terrestres, bem como na disponibilidade de água para diversos usos, como abastecimento humano, agricultura, indústria e ecossistemas aquáticos.

Este prefácio introduz um estudo abrangente que se concentra no diagnóstico da relação entre a vegetação e os recursos hídricos na Bacia do Rio Claro. Através de uma análise aprofundada, o estudo busca identificar padrões de uso da terra, mudanças na cobertura vegetal e impactos potenciais sobre a qualidade e quantidade de água na bacia. Além disso, o prefácio destaca a importância de desenvolver instrumentos eficazes de gestão que possam garantir a conservação dos recursos hídricos e a manutenção da vegetação de forma sustentável.

Ao longo desta obra, serão explorados diferentes aspectos, incluindo a influência da vegetação na infiltração e retenção de água no solo, a capacidade da vegetação ripária em proteger as margens dos corpos d'água contra a erosão, a relação entre a cobertura vegetal e a recarga de aquíferos, entre outros tópicos relevantes. Além disso, o estudo também abordará como as atividades humanas, a exemplo, desmatamento, urbanização e agricultura, podem afetar negativamente a vegetação e, por consequência, os recursos hídricos da bacia.

O resultado final desta obra é o desenvolvimento de diretrizes e estratégias para a gestão adequada da vegetação e dos recursos hídricos na Bacia do Rio Claro. Isso pode incluir recomendações para a conservação de áreas vegetadas, a implementação de práticas de manejo sustentável da terra e a promoção de políticas de preservação ambiental. Além

disso, a criação de ferramentas de monitoramento contínuo e sistemas de alerta precoce pode desempenhar um papel essencial na proteção e na gestão eficaz desses recursos vitais.

Este prefácio serve como um convite à leitura e exploração da obra completa, que oferecerá insights valiosos sobre a complexa relação entre a vegetação e os recursos hídricos na Bacia do Rio Claro, assim como proporá soluções concretas para a preservação e o uso sustentável desses elementos essenciais para a vida e o desenvolvimento da região.

Antônio Carlos Barreto

Resumo

O aumento da pressão antrópica sobre os recursos naturais ocasiona intensos impactos ambientais, o que enfraquece o potencial da natureza em oferecer os serviços ecossistêmicos. A gestão ambiental, composta por ações de conservação que devem apontar o que deve ser protegido, onde deve ser protegido e como deve ser protegido, podendo ser subsidiada por propostas de indicação de áreas prioritárias para a conservação dos recursos naturais. A priorização destas áreas pode diminuir os custos de transação e potencializar os efeitos de um projeto de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Nesse contexto, o objetivo geral da obra é propor estratégias de gestão dos recursos hídricos e uso do solo na Bacia do Rio Claro - MG. A obra também caracteriza a bacia em relação aos recursos hídricos e aos seus índices de vegetação; identifica conflitos de uso; define áreas prioritárias para a conservação/preservação que influenciam na conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos da bacia; propõe a criação de Unidades de Conservação; calcula e espacializa a perda de solo em diferentes cenários; indica diretrizes para a criação de políticas públicas de incentivo a preservação e recuperação da bacia pelos agricultores, por meio da ferramenta de pagamento por serviços ambientais; estima os valores a serem arrecadados e levanta fontes para subsidiar um programa de pagamento por serviços ambientais. Para a avaliação da dinâmica do uso e ocupação utilizou-se imagens RapidEye com resolução espacial de 5 m, do ano de 2015. Utilizou-se o software ArcGis® 10.1TM para todas as rotinas computacionais. A quantificação da perda de solo foi realizada pelo modelo RUSLE. Os resultados demonstraram que a bacia do Rio Claro apresenta indisponibilidade hídrica. As metodologias elaboradas neste estudo mostraram-se adequadas ao mapeamento de áreas prioritárias à conservação de água e a proposição de Unidades de Conservação. Com a criação das Unidades de Conservação propostas serão conservados aproximadamente 22.885 ha entre unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável. A bacia do Rio Claro - MG possui características que justificam a criação

de um PSA em sua área, como a agricultura como uso predominante e existência de conflitos de uso nas Áreas de Preservação Permanente. As Áreas de Conservação de Água (ACAs) e as Unidades de Conservação de Água (UCAs) seriam um bom critério de elegibilidade, ou de prioridade na aplicação dos recursos dentro de um PSA, assegurando o objetivo de conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos da região. A estimativa dos benefícios ambientais proporcionados pelo Programa ACA apresentou reduções de até 84,1% na perda de solo da bacia.

Palavras-chave: Áreas Protegidas. Pagamento por Serviços Ambientais. Produção de Água. Serviços Ambientais. Unidades de Conservação.

Sumario

Introdução	14
------------------	----

Parte 1 Contextualização em gestão de recursos hídricos e caracterização da bacia do Rio Claro – Minas Gerais

Capítulo 1 Vegetação, recursos hídricos, pagamento por serviços ambientais e a caracterização da bacia do Rio Claro - Minas Gerais.....	18
--	-----------

1.1 A relação entre a vegetação, áreas protegidas e recursos hídricos.....	18
---	----

1.2 Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais	22
--	----

1.3 Pagamento por serviços ambientais	23
--	----

1.3.1 Tipos de PSA e exemplos.....	25
------------------------------------	----

1.3.1.1 O Programa “Produtor de Água”	28
---	----

1.4 Caracterização da bacia do Rio Claro - MG	29
--	----

1.4.1 Solos	30
-------------------	----

1.4.2 Vegetação	31
-----------------------	----

1.4.3 Recursos Hídricos.....	31
1.4.4 As corredeiras do Rio Claro	33
1.5 Considerações Finais	35

Parte 2

Análise do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Claro - MG e proposição de instrumentos de gestão

Capítulo 2

Cobertura vegetal e aptidão agrícola na bacia do Rio Claro - MG: índices, conflitos e prognósticos.....

2.1 Introdução.....	37
2.2 Material e métodos.....	39
2.3 Resultados e Discussão	42
2.3.1 Uso e cobertura do solo.....	42
2.3.4 Reserva Legal	45
2.3.3 APP e conflitos de uso	45
2.3.5 Aptidão do solo e conflitos de aptidão	47
2.3.6 Índice de cobertura vegetal natural.....	50
2.3 Conclusões.....	53

Capítulo 3
Definição de Áreas Prioritárias
de Conservação de Água (APCAs)
como um instrumento para a gestão
de recursos hídricos na bacia do Rio Claro 54

3.1 Introdução..... 54

3.2 Material e métodos..... 56

3.3 Resultados e discussão..... 68

3.4 Conclusões..... 75

Capítulo 4
Metodologia para criação de
Unidades de Conservação de Água:
Estudo de caso bacia do Rio Claro - MG..... 76

4.1 Introdução..... 76

4.2 Material e métodos..... 79

4.3 Resultados e Discussão..... 82

4.4 Conclusões..... 95

Capítulo 5
Programa ACA - Áreas de
Conservação de Água:
Pagamento por Serviços
Ambientais na Bacia do Rio Claro - MG..... 97

5.1 Introdução.....97

5.2 Material e Métodos.....100

5.3 Resultados e Discussão.....	104
5.3.1 Programa ACA (Áreas de Conservação de Água): Um Programa de PSA para a bacia do Rio Claro - MG	104
5.3.2 Estimativa da melhoria ambiental do Programa ACA	111
5.3.3 Valoração e recursos para implantação do Programa ACA	114
5.4 Conclusões.....	116

Parte 3

Considerações finais

Considerações finais.....	118
Referências	120
Os autores.....	134

Introdução

A demanda hídrica se intensifica progressivamente à medida que ocorre o crescimento econômico e populacional. Essa intensificação se deve ao fato de a água ser um insumo essencial a todas as atividades econômicas, fazendo com que a gestão deste recurso natural seja de suma importância na manutenção de sua oferta em termos de quantidade e qualidade.

A oferta hídrica está relacionada ao uso e ocupação do solo, porém mais diretamente relacionada ao percentual de cobertura vegetal da bacia hidrográfica (IBASE, 2006; Medeiros; Young, 2011). Vanzela, Hernandez e Franco (2010) afirmam que o uso e a ocupação dos solos exercem influência marcante no escoamento superficial e aporte de sedimentos no leito dos mananciais, podendo alterar a qualidade e a disponibilidade da água. Reis (2004) concluiu em seu estudo que em bacias hidrográficas e mananciais com maior cobertura florestal, o custo associado ao tratamento da água destinado ao abastecimento público foi menor que o custo de tratamento em mananciais com baixa cobertura florestal.

Segundo Geluda e Young (2005), o meio ambiente fornece uma gama de bens e serviços que são de interesse direto ou indireto do ser humano, permitindo sua sobrevivência e seu bem-estar. Nesse contexto, um dos principais valores atribuídos à água corresponde à sua função de sustentação de todas as formas de vida do planeta, ou seja, da biodiversidade (Medeiros; Young, 2011). Porém, com a atual degradação que os sistemas ambientais vêm sofrendo, o potencial da natureza em oferecer estes serviços ambientais tem sido enfraquecido pelos impactos antrópicos. Desse modo, cada bacia hidrográfica deve garantir uma disponibilidade hídrica suficiente para a manutenção de ecossistemas naturais saudáveis (Postel; Vickers, 2004). Isso poderá ser conseguido pela conservação de áreas protegidas. Nesse contexto, o pagamento por serviços ambientais (PSA) surge como uma opção para contribuir para a conservação e preservação ambiental.

Ações de conservação, conceituadas por Johnson (1995) como aquelas que devem apontar o que deve ser protegido, onde deve ser protegido e como deve ser protegido, podem ser subsidiadas por propostas de indicação de áreas prioritárias para a conservação dos recursos naturais. Segundo Souza (2015), nesse processo de tomada de decisão está envolvido um grande número de variáveis do meio físico, biológico, econômico e social, cujas interações produzem uma infinidade de alternativas. Nesse contexto, destaca-se a análise multicritério (AMC) como método que permite combinar os fatores relevantes para o problema em questão e ainda atribuir peso para eles de acordo com o grau de importância. Desse modo, o diagnóstico das características físicas de uma bacia hidrográfica se torna um instrumento importante para fornecer subsídios à gestão das bacias e promover intervenções no sentido de se conservar os recursos naturais existentes (Flauzino et al., 2010). Vanzela, Hernandez e Franco (2010) afirmam que, a partir do levantamento do uso e ocupação do solo, é possível a realização de um diagnóstico da situação atual de uma bacia hidrográfica, além de ser possível simular cenários de mudança e prognosticar soluções para a melhoria das realidades levantadas. Aliado a este instrumento, a geotecnologia apresenta ser uma ferramenta que possibilita a caracterização física de uma região, uma vez que ela permite o emprego de diversas ferramentas disponíveis para o conhecimento, gestão e monitoramento das bacias hidrográficas de uma região e aproveitamento dos recursos naturais ali existentes. Portanto, a sua utilização se torna um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água (Flauzino et al., 2010).

A unidade de planejamento ambiental estudada neste livro é a bacia do Rio Claro, localizada no estado de Minas Gerais. Os estudos realizados se justificam pelas características e importância deste corpo d'água, além dos níveis de degradação já levantados na região por outros autores (Macedo; Ribeiro, 2002; Soares, 2002). Segundo Soares (2002), o Rio Claro deve ser protegido, pois é uma das belezas naturais da região do Triângulo Mineiro e deveria passar por um novo zoneamento ambiental, além da proposição de alternativas para um aproveitamento mais racional e sustentável dos recursos naturais, pois auxiliaria a um possível reestabelecimento do equilíbrio das paisagens. A bacia do Rio Claro é considerada uma área de recarga direta dos Aquíferos Bauru, Serra Geral e Guarani, ressaltando a importância da conservação e recuperação da área para a preservação dos recursos hídricos (Soares, 2002). Além disso, a Bacia do Rio Claro possui áreas de conflito de uso da água, devido à grande quantidade de usuários que requerem a outorga da água neste local,

inclusive para abastecimento da população da cidade de Uberaba-MG. Segundo Souza (2012), a vazão outorgada em toda a bacia já extrapolou o limite máximo outorgável, o que configura a bacia como um todo passível de Decreto de Área de Conflito (DAC) pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

Frente a tal contextualização, esta obra é uma adaptação da tese de doutorado de Joyce Silvestre de Sousa, sob orientação de Gilberto Coelho, no Programa de Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas da Universidade Federal de Lavras, intitulada Vegetação e Recursos Hídricos na Bacia do Rio Claro - MG: Diagnóstico e Instrumentos para Gestão. Os resultados deste estudo forneceram embasamento técnico para a criação da lei de proteção ambiental do Rio Claro. A Lei nº 1966, sancionada em 30 de setembro de 2021, declarou o trecho a partir da BR- 452 (da Cachoeira da Ponte até a foz do Rio Claro com o Rio Araguari), patrimônio cultural, histórico, paisagístico, ecológico e turístico do Município de Nova Ponte – MG. A legislação sancionada veta a construção de barramentos na região do baixo Rio Claro, incluindo empreendimentos hidrelétricos. A obra propõe estratégias de gestão dos recursos hídricos e uso do solo na Bacia do Rio Claro - MG, visando à recuperação e à conservação de áreas para a melhoria da qualidade e quantidade dos recursos hídricos. Além disso, a publicação se propõe a: a) caracterizar a bacia em relação aos recursos hídricos e aos seus índices de vegetação, identificando conflitos e contribuição da legislação para benefícios da paisagem; b) definir áreas prioritárias para a conservação/preservação que influenciam na conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos da bacia do Rio Claro; c) propor a criação de Unidades de Conservação; d) calcular e espacializar a perda de solo em diferentes cenários; e) indicar diretrizes para a criação de políticas públicas de incentivo a preservação e recuperação da bacia pelos dos agricultores, por meio da ferramenta de pagamento por serviços ambientais; f) levantar fontes para a implantação de um programa de pagamento por serviços ambientais; g) estimar os valores a serem arrecadados para subsidiar um programa de pagamento por serviços ambientais. Esta obra é organizada em três partes: Parte I - Contextualização em recursos hídricos e caracterização da bacia do Rio Claro-Minas Gerais. Apresenta conceitos acerca de temas relevantes que serão abordados ao longo desta publicação, como a relação entre vegetação e recursos hídricos, serviços ecossistêmicos e pagamentos por serviços ambientais, além da caracterização da área da bacia do Rio Claro - MG; Parte II - Análise do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Claro - MG, e propostas de instrumentos de gestão; Parte III - Apresenta as considerações finais, interligando os resultados gerados em todas as partes da obra.

Parte 1

Contextualização em gestão de recursos hídricos e caracterização da bacia do Rio Claro - Minas Gerais

Capítulo 1

Vegetação, recursos hídricos, pagamento por serviços ambientais e a caracterização da bacia do Rio Claro - Minas Gerais

1.1 A relação entre a vegetação, áreas protegidas e recursos hídricos

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica resulta de fatores geomórficos, climáticos, hidrológicos, biológicos e do uso e ocupação do solo (Hunsaker; Jackson; Simcock, 1998; Chaves; Santos, 2009). De acordo com Fengler et al. (2015), a situação de perda da qualidade da água se intensifica com a ocupação de regiões localizadas em mananciais.

Segundo Flauzino et al. (2010), a alteração dos fatores naturais e a influência antrópica indiscriminada na região da bacia do Rio Paranaíba são responsáveis por constantes alterações nos cursos d'água do Cerrado, bioma considerado uma importante área de contribuição hídrica para grandes bacias hidrográficas brasileiras. Para Gardiman Junior e Simoura (2016), os inúmeros processos que ocorrem dentro de uma bacia de drenagem de um corpo hídrico podem refletir sobre algumas variáveis de qualidade da água. Estas variáveis, diretamente relacionadas ao uso e ocupação do solo, permitem muitas vezes diagnosticar possíveis causas dos impactos ambientais sobre os recursos naturais.

Em se tratando da cobertura do solo, Johnson e Perrot-Maitre (2000) afirmam que os ecossistemas florestais provêm às sociedades humanas quatro tipos de benefícios relacionados à água e diretamente

relacionados às relações entre floresta e água. Os benefícios são a qualidade da água, a regularização de vazão, o fornecimento de água e produtividade aquática. As florestas de encosta protegem a superfície do solo do início do processo erosivo, promovem a infiltração da água no solo e funcionam como barreiras ao transporte dos sedimentos. Ao redor das nascentes, elas têm importante função de proteção, principalmente contra compactação e o assoreamento por práticas agrícolas inadequadas (Vettorazzi, 2006; Sartori et al., 2012). Segundo Tucci e Mendes (2006), a vegetação ainda desempenha um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de volumes de água, realizando, de acordo ISPN (2016), um serviço indireto fundamental por meio de seu papel na hidrologia dos estoques e fluxos superficiais de água. A cobertura vegetal mantém a qualidade e disponibilidade de água ao longo do tempo, sendo que os benefícios desses serviços não se limitam à sua origem, são compartilhados com toda a extensão do curso d'água (ISPN, 2016).

O estudo de Dudley e Stolton (2003 apud Medeiros; Young, 2011, p. 88) sobre o papel da proteção de florestas para a oferta de água potável, incluindo um levantamento nas 100 cidades mais populosas do mundo, revelou uma clara ligação entre as florestas e a qualidade da água. Na relação floresta-água, as florestas protegem os solos contra a erosão, favorecem a infiltração e garantem a recarga dos mananciais e aquíferos (Guedes; Seehusen, 2011). Nesse sentido, não apenas a proporção, mas também a posição das áreas florestadas na bacia (por exemplo, áreas ripárias) influencia a qualidade da água (Hunsaker; Jackson; Simcock, 1998; Rhodes; Newton; Pufall, 2001; Riemann; Riva-Murray; Murdoch, 2004; Chaves; Santos, 2009; Rosa et al., 2014). Medeiros e Young (2011) afirmam que as bacias hidrográficas florestadas oferecem água de melhor qualidade que as bacias hidrográficas sob outros usos da terra porque praticamente todos estes outros usos são susceptíveis de aumentar a quantidade de poluentes que entram nas cabeceiras. A qualidade pode também ser maior porque as florestas auxiliam a regulação da erosão do solo e redução da carga de sedimentos. Na maioria dos casos, a existência das florestas pode reduzir substancialmente a necessidade de tratamento para água potável e, assim, reduzir de maneira drástica os custos de abastecimento de água. Reis (2004) correlacionou a cobertura florestal e custos de tratamento de água na Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba em São Paulo, concluindo que o custo específico do tratamento das águas (custo específico com produtos químicos e energia elétrica da Estação de Tratamento de Água (ETA) / 1000 m³ de água) do rio Piracicaba é 12,7 vezes superior ao custo específico correspondente das águas do Sistema

Cantareira, cuja bacia de abastecimento encontra-se com 27,16% de sua área com cobertura florestal, enquanto a bacia do Piracicaba apresenta apenas 4,3% de cobertura florestal. Medeiros e Young (2011) abordam exemplos internacionais de que proteger a água na fonte é a forma mais eficaz de prevenir a contaminação de água potável. Medeiros e Young (2011) citam a cidade de Nova York que utiliza florestas protegidas para manter o suprimento de água de alta qualidade, e Sydney, na Austrália, onde cerca de um quarto da bacia hidrográfica é gerenciado com objetivo de parar a entrada de nutrientes e outras substâncias que podem afetar a qualidade da água entre áreas de armazenamento.

O bioma Cerrado, região de localização da área deste estudo, apresenta uma grande diversidade florística, possuindo a flora mais rica entre as savanas do mundo, com 11.046 espécies de plantas vasculares (Mendonça et al. 2008), das quais cerca de 4.400 são endêmicas (Myers et al. 2000). O bioma Cerrado vem sofrendo mudanças expressivas, com quase 50% de sua área original convertida em áreas antropizadas (Klink; Machado 2005). As maiores e mais amplas ameaças à biodiversidade deste bioma são a dispersão de espécies exóticas e degradação do solo e dos ecossistemas nativos (Simões, 2013). Para Lima et al. (1998), é grande a responsabilidade em manter e conservar tamanha biodiversidade do Cerrado, tendo em vista que a intensidade de exploração dos recursos físicos e biológicos desta área não pode ultrapassar os limites de sua capacidade, já que esta apresenta uma grande variabilidade ambiental com ambientes extremamente frágeis e susceptíveis à degradação. Nesse cenário, o monitoramento da cobertura vegetal com vistas a preservar os remanescentes de vegetação nativa e recuperar áreas já degradadas, é relevante no sentido de zelar pela sobrevivência da fauna e flora existentes no Cerrado, além de assegurar qualidade de vida às populações ali existentes (Flauzino et al., 2010). Este monitoramento poderá servir como subsídio à criação de áreas protegidas. De acordo Dalla-Nora et al. (2014), apenas 12% do Cerrado é coberto por áreas protegidas (APs) públicas, sendo que as APs públicas de proteção integral (sem ocupação humana) representam 2,6% do bioma. Isso significa que no Cerrado predominam baixos níveis de proteção ambiental, ocasionando assim a maior disponibilidade de terra legalmente apta para a agricultura em relação a qualquer outro bioma brasileiro.

Para Cabral e Souza (2005), as áreas protegidas são espaços territoriais legalmente protegidos por meio da legislação ambiental específica,

e podem ser de domínio público ou privado. Segundo Follmann e Foletto (2013), cabe ao poder público regulamentar em lei as áreas protegidas de domínio público. A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que cria a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), em seu artigo 9º, estabelece sobre os instrumentos da PNMA em que se propõe ao Poder Público Federal, Estadual ou Municipal a criação de Espaços Territoriais Especialmente Protegidos. Estes espaços se apresentam como uma garantia da efetivação do artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que versa sobre o direito da sociedade a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e à qualidade de vida.

Nesse contexto, as Unidades de Conservação (UCs) constituem elementos estratégicos para promover a conservação das espécies, além da provisão de serviços ambientais que propiciam o crescimento de uma série de cadeias econômicas (Medeiros; Young, 2011). Segundo Bento e Rodrigues (2013, p. 38), entende-se por Unidades de Conservação como um “[...] espaço territorial e seus recursos ambientais, [...], com características relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, [...], sob regime especial de administração, [...]” (Lei 9.985/2000, Art. 2º), tendo objetivos variados como manutenção, proteção, preservação, restauração, recuperação da biodiversidade e dos recursos hídricos. Nesse sentido, Agostinho et al. (2005) ressaltam que a maioria das áreas protegidas tem sido criada para proteger espécies da fauna e flora terrestres, porém elas protegem também um número considerável de corpos d’água.

Para Tundisi (2005), a garantia de suprimento adequado de água para as regiões metropolitanas e urbanas será um dos principais desafios para o Brasil no século XXI, porém, segundo Follmann e Foletto (2013), se considerarmos o aumento no investimento para o tratamento da água, a criação de áreas protegidas e a implantação efetiva da compensação por serviços ambientais poderão amenizar problemas futuros relacionados à diminuição da qualidade da água e também manter os estoques hídricos subterrâneos.

Mediante o exposto, a análise da cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica é fundamental para a elaboração de propostas visando à recuperação da capacidade de prestação de serviços ambientais, principalmente relacionados à provisão de água, além da prevenção da ocupação desordenada.

1.2 Serviços ecossistêmicos e serviços ambientais

Segundo Daily (1997), são considerados serviços ecossistêmicos aqueles prestados pelos ecossistemas naturais e suas espécies componentes, na sustentação e preenchimento das condições para a permanência da vida humana da Terra.

O termo serviços ambientais está intrinsecamente ligado à ação antrópica, entendendo-o como toda ação antrópica que, com o objetivo de se apropriar ou utilizar dos produtos gerados por um ecossistema, causa algum efeito sobre ele (Chomitz et al., 1999). Já para Guedes e Seehusen (2011), os serviços ambientais podem incluir tanto os serviços produzidos pelos ecossistemas naturais como aqueles produzidos em ecossistemas em que o homem realiza o manejo. De acordo com Bensusan (2006), a sustentação da capacidade dos ecossistemas de manter as condições ambientais adequadas depende da implementação de práticas antrópicas que tornem mínimos os impactos negativos do desenvolvimento nesses ecossistemas. Para Jardim (2010), a natureza oferta o serviço ecossistêmico, ou serviço ambiental para alguns autores, contudo, presta um serviço ambiental o homem que trabalha na manutenção desses serviços.

Os serviços ambientais podem ser classificados em: serviços de provisão, decorrentes da disponibilização dos produtos ambientais, como água e alimentos; serviços de regulação, pela atuação dos processos ecossistêmicos na recuperação e manutenção das condições de equilíbrio ambiental, como na regulação climática e na degradação biológica de poluições; serviços de suporte, como a fotossíntese; e ainda serviços culturais, recreacionais, estéticos e espirituais (Mattos, 2003; Godecke; Hupffer; Chaves, 2014).

Para que exista um pagamento pelos serviços ambientais, é imprescindível que estes se incluam dentro da esfera de mercado; o que só é possível a partir do momento em que se reconhece o valor econômico dos serviços ambientais (Jardim, 2010).

1.3 Pagamento por serviços ambientais

Todo bem e/ou mercadoria que tem utilidade e é escasso passa a ter valor de mercado, e desta maneira passa a ser observado como ativo pelo sistema econômico (Toledo, 2005, p.11).

O panorama do pagamento por serviços ambientais surge do cenário que a partir do momento que o bem se torna escasso e existe a possibilidade de produção deste, surge o produto desde que sua produção seja compensada. Sendo assim, se a sociedade necessita de um serviço adicional para preservação e recomposição de seus estoques de recursos naturais, deve haver uma negociação entre produtor e usuário, provedor e beneficiário, já que o sistema econômico é o capitalista (Jardim, 2010).

Pagamento por Serviços Ambientais é definido como uma transação voluntária na qual uma forma de uso da terra que possa assegurar um serviço ambiental ou o próprio serviço ambiental bem definido é adquirido por um comprador de um provedor, sob a condição de que este provedor assegure o fornecimento do serviço ambiental (Wunder et al., 2008).

Para que um projeto de PSA seja aplicável em determinado local, é necessária a existência dos três elementos básicos de um mercado: os produtos (serviços oferecidos pelas áreas naturais ou rurais), os compradores (beneficiários dos serviços gerados) e os vendedores (usuários das terras). O estímulo ao início do desenvolvimento de um mercado em PSA é a demanda e não a oferta. No caso dos recursos hídricos é a necessidade de água, geralmente a jusante, por uma inadequação do manejo do uso do solo, geralmente a montante da bacia (Jardim; Bursztyn, 2015).

Os projetos de PSA funcionam como mecanismos de compensação econômica, pois conservam o que é importante para o bem-estar humano sendo baseado no interesse de usuários e provedores dos serviços ambientais, isto é, aqueles que fazem aumentar a capacidade dos ecossistemas de restaurar ou melhorar suas funções (Atanzio, 2011).

Para Jardim (2010), cabe aos proprietários rurais a maior parcela da responsabilidade de conservar as áreas ripárias, essenciais para a preservação dos corpos hídricos. Portanto, tona-se claro que o produtor rural se transforme no principal alvo de um esquema de PSA que visa à conservação dos recursos hídricos.

As políticas públicas se utilizam de alguns instrumentos para a sua operacionalização. Dentre esses instrumentos estão os instrumentos de comando e controle conhecidos por alcançar as ações que degradam o meio ambiente, limitando ou condicionando o uso de bens, a realização de atividades e o exercício de liberdades individuais, em benefício da sociedade como um todo. Os instrumentos de comando e controle manifestam-se por meio de proibições, restrições e obrigações impostas aos indivíduos e companhias, sempre autorizadas por normas legais. Os instrumentos econômicos diferem dos instrumentos de comando e controle, pois oferecem estímulos financeiros para que os agentes atuem na preservação ambiental e busquem a participação dos agentes poluidores mediante algum incentivo de caráter econômico, tais como isenção fiscal, subsídios, assistência técnica.

A política brasileira é centrada em instrumentos de regulamentação o que gera sobrecarga de trabalhos sobre os órgãos fiscalizadores estimulando soluções precárias e o descumprimento de normas legais por parte das empresas/produtores menos comprometidos com questões ambientais. O fato de muitas empresas/produtores relutarem em incorporar as melhores tecnologias ambientais pode ter origem nesta característica da política ambiental brasileira.

Nesse contexto, o PSA surge como um instrumento econômico dotado de forte tendência a estimular as práticas econômicas visando ao equilíbrio ambiental por meio de incentivos financeiros que garantam a manutenção dos serviços ecossistêmicos. Essa situação se apresenta tendo em vista que a experiência vem demonstrando que a exigência de reparação integral com base na responsabilidade objetiva e solidária dos poluidores diretos e indiretos, a imposição de tributos e de sanções administrativas e penais não têm impedido que a degradação ambiental avance e tampouco têm possibilitado sua reversão (Yoshida, 2005).

Segundo Jardim (2010), o pagamento pelos serviços ambientais (PSA) como instrumento econômico de auxílio na gestão ambiental dos serviços ecossistêmicos tem sido amplamente discutido pela recente literatura da área de conservação de florestas, biodiversidade e recursos hídricos.

A constatação desta valorização dos serviços oferecidos pelo meio ambiente apoia-se aos princípios do poluidor-pagador, do usuário-pagador e do protetor-recebedor, estando este último vinculado à ideia de que o agente público ou privado que protege um bem natural em

benefício da comunidade deve receber uma compensação financeira como incentivo pelo serviço de proteção ambiental efetuado (Bastos, 2007).

O Princípio Protetor-Recebedor postula que aquele agente público ou privado que protege um bem natural em benefício da comunidade deve receber uma compensação financeira como incentivo pelo serviço de proteção ambiental prestado. O Princípio Protetor-Recebedor incentiva economicamente quem protege uma área, deixando de utilizar seus recursos, estimulando assim a preservação. Trata-se de um fundamento da ação ambiental que pode ser considerado o avesso do conhecido Princípio Usuário-Pagador, que postula que aquele que usa um determinado recurso da natureza deve pagar por tal utilização (Ribeiro, 2007).

No contexto legislativo, destaca-se a Lei nº. 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional dos Serviços Ambientais. Em Minas Gerais, cita-se a Lei nº 17.727/2008, que dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde (Minas Gerais, 2008).

Todo esse movimento de estruturar as bases legais para o desenvolvimento de estratégias de PSA fortalece o princípio de que os serviços ambientais possuem valor econômico qualificável e este valor pode ser utilizado para atrair investimentos para a sua restauração e manutenção (Jardim, 2010).

Os serviços ambientais podem ser compensados não apenas com recursos em dinheiro, mas também por meios alternativos, tais como obras públicas de interesse das comunidades, equipamentos específicos de apoio à produção de grupos de agricultores, facilidades na aquisição de máquinas e implementos, programas permanentes de assistência técnica, acesso facilitado e privilegiado ao crédito e isenção ou redução de tarifas diversas (Godecke; Chaves; Souza, 2013).

1.3.1 Tipos de PSA e exemplos

Os PSA representam um instrumento econômico bastante comum em nível mundial, envolvendo sequestro de carbono, proteção da biodiversidade, proteção dos mananciais hídricos e da beleza paisagística (Godecke; Hupffer; Chaves, 2014).

Segundo Jodas (2010), a experiência tem mostrado que a maior

parte dos sistemas pioneiros de PSA é fixada em âmbito local, embora haja vastas experiências com planejamentos nacionais que têm sido implementadas desde 1985 nos Estados Unidos e em 1996 na Costa Rica. Para o Grupo de Pesquisa Agricultura, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2007), são experiências de PSA no Brasil a cobrança pelo uso da água, o Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços - ecológico (ICMS-E), os bônus comercializáveis de Reserva Legal (RL) e os créditos de carbono em projetos florestais. Da mesma forma, outros mecanismos legais, tais como os royalties dos recursos naturais e a isenção fiscal do Imposto Territorial Rural (ITR) para Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), são exemplos que também têm como pressuposto compensações financeiras por serviços ambientais.

Pagiola, Bishop e Lander-Mills (2005) discorrem sobre o ICMS-E:

O ICMS-E é um mecanismo que destina parte da receita oriunda do ICMS para o município com base no desempenho de vários critérios ecológicos. O ICMS-E originou-se como meio de compensar os municípios que possuem unidades de conservação (UC) – seja totalmente protegidas ou restritas a áreas de uso sustentável – dentro de seus territórios pela perda resultante de receita. Como benefício externo positivo, o instrumento também procura estimular tanto a melhoria dessas áreas como a criação de novas UCs. (Pagiola; Bishop; Lander-Mills, 2005, p. 98).

A Lei Estadual Mineira nº13.803, de 27/12/2000, em seu art.1º, VIII, diz que os municípios que tratam seus esgotos sanitários, dispõem de tratamento adequado para o lixo urbano, bem como têm em sua área unidades de conservação federal, estadual, municipal ou mesmo particular, recebem compensação financeira por tais iniciativas.

Observa-se um aumento cada vez mais crescente de experiências baseadas em PSA. A maior parte dos casos visa aumentar a disponibilidade e/ou qualidade da água para o consumo humano em áreas urbanas ou para a geração de energia hidroelétrica. Exemplo disso foi à cidade Nova York que optou por adquirir e recuperar áreas da bacia de Catskill ao invés de construir uma complexa estação de tratamento de água. A economia no processo foi de mais de US\$ 3 bilhões (The Catskill Center, 2004).

A partir do ano 2000, o Brasil consignou pioneiros projetos na Amazônia, como o Programa Bolsa Floresta e o Programa de Desenvolvimento Socioambiental da Produção Familiar Rural (Proambiente).

Estes programas vincularam serviços ambientais ligados ao carbono, água, qualidade do solo e biodiversidade, havendo, em contrapartida, pagamento pelo desmatamento evitado, melhorias nas práticas agrícolas e toneladas de carbonos capturados (Wunder et al., 2008).

Em outras regiões do país, no município de Extrema, em Minas Gerais; a bacia do rio Jaguari desde 2007 abriga o Programa Produtor de Água em parceria com diversas instituições, o qual se tornou responsável por grande parte do abastecimento da capital paulista (Jodas, 2010).

Jardim (2010) analisou o potencial do pagamento por serviços ambientais para a geração de benefícios econômicos, sociais e ambientais na gestão de recursos hídricos, quando da interação entre floresta e água em pequenas propriedades rurais. A cidade de Extrema-MG, foco do estudo, destaca-se por ser a primeira iniciativa municipal a realizar pagamentos para proprietários rurais em troca da garantia do fornecimento de serviços ambientais visando a melhoria dos recursos hídricos; baseado no programa “Produtor de água”, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA).

De acordo com Rosa et al. (2014), existem outros exemplos que também merecem destaque por sua implantação de PSA, como Rio de Janeiro, na bacia do rio Guandu; São Paulo, nas microbacias do Rio Moinho e Cancã, localizadas nas cidades de Joanópolis e Nazaré Paulista. Destacam-se também projetos na região Centro-Oeste, no Ribeirão Piriapau, do Distrito Federal, e na região Sul do Brasil, com evidência para o estado do Paraná e os municípios Apucarana, na bacia do rio Pirapó, promulgador do Projeto Oásis; e Londrina, na bacia do rio Tibagi.

O Programa de Recuperação de Vegetação Ciliar e Reserva Legal do Município de Londrina, estado do Paraná, é um exemplo concreto de que o incentivo a boas práticas agrícolas somado ao Pagamento por Serviços Ambientais podem garantir a aplicabilidade do Código Florestal (Jodas, 2010).

Jodas (2010) ainda acrescenta que diversas regiões do país, em graus expressivos, têm mobilizado a sociedade civil organizada junto ao Poder Público e obtido significativo êxito na consecução das políticas públicas ambientais, estando aí inseridos os PSA. A constatação desta mobilização demonstra claramente que a continuidade dos PSA deve ser incentivada. O PSA pode ser considerado uma boa estratégia para garantir a prática da agropecuária sustentável e do manejo florestal sustentável, que influenciam diretamente a conservação e a gestão integradas de recursos florestais e hídricos em uma bacia hidrográfica (Jardim, 2010).

1.3.1.1 O Programa “Produtor de Água”

O programa “Produtor de água”, desenvolvido pela ANA, visa aplicar o modelo de PSA aos agentes que, comprovadamente, contribuirão para a proteção e recuperação de mananciais, provocando benefícios para a bacia hidrográfica e sua população.

O “Produtor de Água” foi concebido como um programa voluntário, flexível, de implantação descentralizada, que visa ao controle da poluição difusa em mananciais estratégicos. O programa parte da premissa que a melhoria ambiental auferida fora da propriedade pelo produtor participante é proporcional ao abatimento da erosão e, conseqüentemente, da sedimentação, em função das modificações no uso e manejo do solo e dos custos de sua implantação por parte do participante (Chaves et al., 2004).

Segundo a ANA (2012), o programa tem como foco a redução da erosão, melhoria da qualidade da água e aumento das vazões dos rios, utilizando-se práticas mecânicas e vegetativas de conservação de solo e água, readequação das estradas vicinais e construção de fossas sépticas nas propriedades rurais.

O “Produtor de Água” contempla apoio técnico e financeiro à execução de ações de conservação de água e solo tais como: a construção de terraços e de bacias de infiltração, a readequação de estradas vicinais, a recuperação da área de recarga de nascentes, o reflorestamento de APP e Reserva Legal (RL), o saneamento ambiental, entre outras práticas conservacionistas.

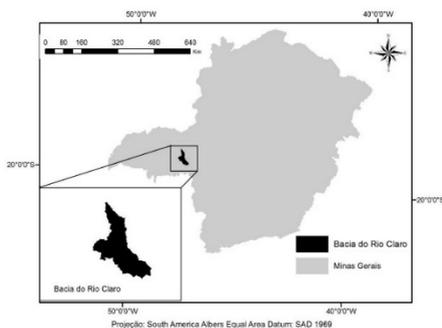
O Programa é flexível quanto aos manejos e práticas conservacionistas, entretanto, os mesmos deverão aportar, de forma comprovada, benefícios ambientais ao manancial de interesse (ANA, 2012).

Os recursos do programa poderão vir dos recursos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos; das empresas de saneamento, geração de energia elétrica e usuários; dos Fundos Estaduais de Recursos Hídricos; do Fundo Nacional de Meio Ambiente; do Orçamento Geral da União; do orçamento de Estados, Municípios e Comitês de Bacias; de Compensação financeira por parte de usuários beneficiados; de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo / Protocolo de Kyoto; Organismos Internacionais; e Financiamento de bancos de investimento oficiais (ANA, 2012).

1.4 Caracterização da bacia do Rio Claro - MG

A área objeto de estudo desta obra é a bacia hidrográfica do Rio Claro, sub-bacia da Bacia do Rio Araguari, localizada na região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais. A Figura 1.1 apresenta a localização da bacia do Rio Claro, delimitada pelas coordenadas geográficas 19° 05' a 19° 45' de latitude sul e 47° 30' a 48° 00' de longitude oeste, com altitude variando de 700 a 1050 metros (Soares, 2002). A bacia possui área de 1.066,87km² e abrange parte dos municípios de Uberaba, Nova ponte, Sacramento e Conquista. Segundo a classificação de Köppen (1918), o clima da região é do tipo Aw, ou seja, apresenta um inverno seco e um verão chuvoso (Prado et al., 2016).

Figura 1.1 – Localização geográfica da bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023)

De acordo com Macedo e Ribeiro (2002),

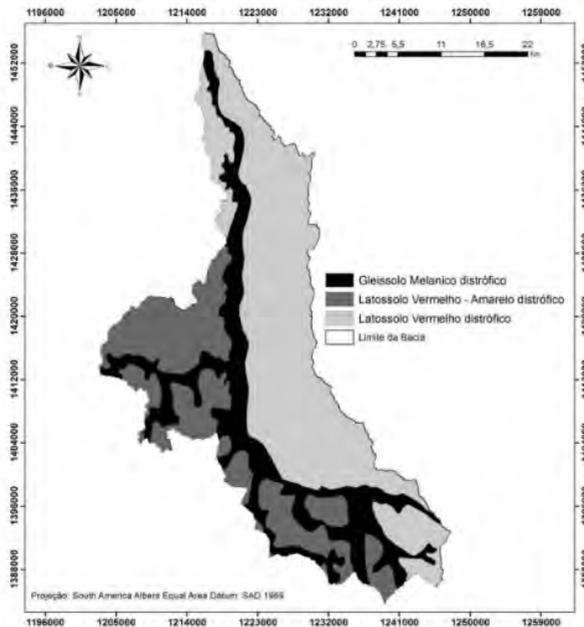
Em relação aos aspectos físicos, a área apresenta no topo das chapadas, arenitos da Formação Marília, recobertos por sedimentos do Cenozóico (aluviões). As rochas do Grupo Araxá e do Complexo Goiano e basalto são encontrados nos vales dos rios da área de estudo. Em relação a geomorfologia a área faz parte do Domínio morfo-estrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, segundo Baccaro (1991, p.39), a área é representada por um sistema de topo de chapada, com relevo caracterizado por colinas suaves de topos planos e largos, vales espaçados com baixa ramificação de drenagem; vertentes com baixa declividade, até 3°, sustentadas pelos arenitos da Formação Marília. Os planaltos e chapadas da

Bacia Sedimentar do Paraná constituem um importante divisor de águas. Eles separam os rios que fluem para a Bacia do Araguaia a Norte, para a Bacia do Paraguai a Oeste e para a Bacia do Paraná a Sul. Essa condição de divisor de águas em áreas planálticas estabelece desníveis altimétricos expressivos que origina rupturas topográficas ao longo do perfil longitudinal dos rios. Estes desníveis podem ser percebidos nos canais fluviais da Bacia do Rio Claro, apresentando muitas cachoeiras e corredeiras. (Macedo; Ribeiro, 2002, p.68)

1.4.1 Solos

A espacialização dos solos na bacia do Rio Claro - MG pode ser observada na Figura 1.2. Na área de estudo, encontram-se predominantemente os Latossolos Vermelhos, seguido dos Latossolos Vermelhos-Amarelos e Gleissolos.

Figura 1.2- Distribuição dos tipos de solos da bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Mapa de Solos de Minas Gerais, na escala de 1:500.000 (FEAM, 2010).

1.4.2 Vegetação

A área encontra-se dentro do domínio do bioma Cerrado. Segundo Flauzino et al. (2010), de acordo com o levantamento dos remanescentes do Bioma Cerrado, as classes de cobertura vegetal natural predominantes na bacia do Paranaíba se referem às categorias definidas pelo IBGE por: Savana (Cerrado), Floresta Estacional Semidecidual e Áreas de Tensão Ecológica (Contato Savana – Floresta Estacional). Em conformidade com Macedo e Ribeiro (2002), a vegetação do Cerrado na área de estudo é caracterizada por árvores geralmente pequenas (3 a 5 metros) de troncos e galhos retorcidos, apresentando sua parte superior sob formas irregulares, com casca espessa e protegida, às vezes, por uma camada de cortiça. O Cerrado possui alto índice de endemismos (Bridgewater et al., 2004), apresentando várias fitofisionomias naturais (Eiten, 1982), resultantes da interação de fatores edáficos, topográficos, de temperatura e sazonalidade (Oliveira; Marquis, 2002); encontrando-se entremeadado às florestas secas em grandes extensões do continente sul-americano (Mendonça et al., 1998).

1.4.3 Recursos Hídricos

A Figura 1.3 ilustra a hidrografia e a localização dos pontos de outorga de direito de uso de recursos hídricos superficiais individuais e coletivas da bacia do Rio Claro. A bacia do Rio Claro está inserida na bacia do Rio Paraná, sub-bacia do Paranaíba e bacia do rio Araguari. A rede de drenagem principal compreende o Rio Claro e seus afluentes: ribeirão Guaribas, córrego Olhos d'água, córrego dos Fanecos, córrego da Onça, córrego dos Poções, córrego do Retiro, córrego Indaiá, córrego Vertente Comprida, córrego dos Coqueiros, córrego dos Corais, córrego Varginha, córrego das Estacas, córrego da Taquara, córrego da Imbira e córrego Sucuri, possuindo reunidos 81,05 km de extensão (Souza, 2012).

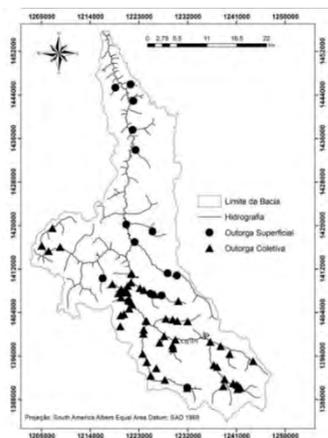
De acordo com Santos e Nishiyama (2016), o município de Uberaba utiliza o sistema de transposição das águas da bacia do Rio Claro para a bacia do Rio Uberaba. A transposição visa ao suprimento de água para a cidade de Uberaba, sobretudo nos períodos mais urgentes de estiagem. O sistema de transposição fornece uma vazão de 540 L/s à bacia do rio Uberaba. Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (CBH-Araguari, 2011), a vazão mínima ($Q_{7,10}$) da bacia do Rio Claro é de 3496 L/s. Em relação à disponibilidade hídrica (Vazão outorgável-30% da $Q_{7,10}$) da bacia do Rio Claro é de 1048,80 L/s. A vazão utilizada em 2008 era de 1304 L/s, demonstrando demanda maior que a disponibilidade hídrica

em 124,33%. Na bacia do Rio Claro, verificam-se áreas em conflito de uso dos recursos hídricos (CBH-Araguari, 2011; Souza, 2012). Uma área de conflito de uso é um trecho na bacia onde os usos instalados já ultrapassam a vazão máxima outorgável e que já possuem processos coletivos (Rocha, 2012). Nesses casos, uma vez constatada a indisponibilidade hídrica na bacia hidrográfica, o IGAM declara a área como área de conflito, mediante análise dos estudos existentes e suas respectivas demandas de água; publicando a Declaração de Área de Conflito (DAC). O Rio Claro possui a DAC nº 002, do ano de 2005, e a DAC nº 005, do ano de 2009.

Por meio da análise do banco de dados de processos de outorgas de direito de uso das águas superficiais e processos coletivos referentes a usos consuntivos na bacia do Rio Claro, até abril de 2017, disponibilizados pelo IGAM, têm-se um total de 5560,5 L/s de vazão outorgada. Segundo Souza (2012), a vazão outorgada era de 2978,8 L/s até 2011; o que demonstra uma ampliação de 86,7% na situação atual.

Souza (2012) afirma que em 2011 a vazão outorgada em toda a bacia já havia extrapolado o limite máximo outorgável. Com a comprovada ampliação da vazão outorgada, de 2011 a 2017, demonstrada pelas análises deste estudo, evidencia-se a tendência de aumento na demanda e a indisponibilidade hídrica na bacia do Rio Claro. Esta situação a coloca passível de ter toda a sua área declarada como área de conflito pelo IGAM, por meio da publicação de DAC; reforçando a indicação do estudo de Souza (2012).

Figura 1.3 - Hidrografia e pontos de outorga superficial e coletiva da bacia do Rio Claro - MG



Fonte: IGAM (2016).

1.4.4 As corredeiras do Rio Claro

O Rio Claro possui águas claras que correm sobre o basalto (Figura 1.4), muito utilizadas para banho nos locais onde formam verdadeiras piscinas naturais (Figura 1.5).

Segundo Soares (2002), no baixo curso do Rio Claro, quando o rio atinge o último derrame de basaltos, as águas continuam límpidas e formam cachoeiras de extrema beleza (Figura 1.4 e Figura 1.6), nas soleiras rochosas em um vale mais encaixado, com paisagens belíssimas. Porém, a ponte sobre o Rio Claro na primeira queda d'água (Figura 1.7) torna-se um objeto de intrusão na paisagem, comprometendo a qualidade visual (Macedo; Ribeiro, 2002). A Cachoeira da Fumaça (Figura 1.6) possui queda d'água de aproximadamente 60m de altura e 50m de largura (Macedo; Ribeiro, 2002). A forma mais simples e utilizada pelos visitantes para a contemplação da cachoeira, pela facilidade de acesso, é pela margem esquerda do Rio Claro, bem próximo à queda d'água, onde também se pode ter uma bela vista lateral da cachoeira (Figura 1.6). A Cachoeira pode ser observada de frente, proporcionando a apreciação de toda sua beleza cênica (Figura 1.8). Para isto é necessário se deslocar até o lado direito da queda d'água, descer por caminhos mais complicados e só assim é possível ficar de frente para a queda d'água (Figura 1.9 e Figura 1.10).

O Rio Claro e suas quedas d'água podem ser considerados elementos de grande beleza cênica e atrativos turísticos, o que por si só demonstra a aptidão da bacia para inclusão em mecanismos de conservação, como a criação de áreas protegidas.

Figura 1.4 – Último nível de basalto no Rio Claro e formação de cachoeira, no ano de 2010



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 1.5 – Rio Claro em seu baixocurso, no ano de 2011



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 1.6 – Vale encaixado em formação de basalto formando a Cachoeira da Fumaça no Rio Claro - MG, em 2011. Ponto de observação mais comum entre os visitantes pela facilidade de acesso



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 1.7 – Ponte da BR 452 (Uberlândia-Araxá), objeto de intrusão na paisagem e que traz incremento de poluição, no ano de 2011



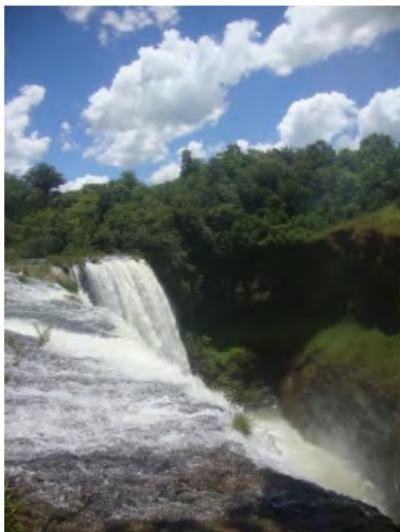
Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 1.8 – Cachoeira da Fumaça no Rio Claro - MG, em 2010. Vista de frente



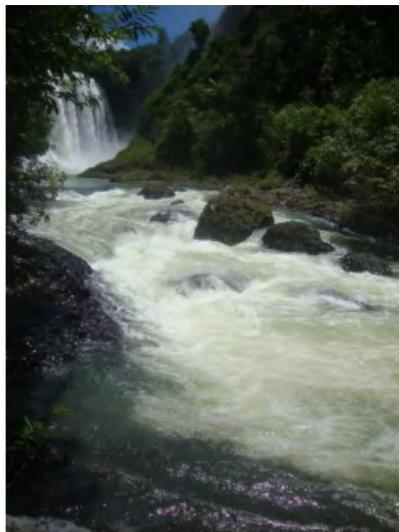
Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 1.9 – Ponto de observação da Cachoeira da Fumaça pelo lado direito do Rio Claro - MG, em 2013



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 1.10 – Caminho por dentro do rio para vista de frente da Cachoeira da Fumaça no Rio Claro - MG, em 2013. Vista de frente



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

1.5 Considerações Finais

A bacia do Rio Claro apresenta indisponibilidade hídrica, comprovada pelas Declarações de Área de Conflito, alta demanda (ampliação da vazão outorgada) e extrapolação da vazão outorgável. Essa situação evidencia a necessidade da criação de mecanismos de proteção e conservação dos corpos d'água da bacia, para assegurar a garantia dos usos múltiplos aos recursos hídricos e a sustentabilidade hídrica. As informações deste capítulo subsidiaram os estudos que propiciaram entender a dinâmica dos impactos ambientais da bacia do Rio Claro, o levantamento de áreas prioritárias para a conservação, a criação de prognósticos e de um sistema de pagamento por serviços ambientais, visando à conservação e à recuperação desta área tão estratégica.

Parte 2

Análise do uso e ocupação do solo da bacia do Rio Claro - MG e proposição de instrumentos de gestão

Capítulo 2

Cobertura vegetal e aptidão agrícola na bacia do Rio Claro - MG: índices, conflitos e prognósticos

2.1 Introdução

O ambiente é transformado pelo homem para satisfazer às suas necessidades. Tal transformação, quando se utiliza, por exemplo, de práticas e manejos inadequados, tem levado os solos à degradação (Almeida et al., 2017).

Nesse sentido, o mapeamento do uso e cobertura do solo permite diagnosticar as mudanças que ocorrem na paisagem, obter informações que fomentem a construção de cenários ambientais e indicadores, e direcionar estratégias de conservação (Santos; Santos, 2010), inclusive dos recursos hídricos.

O planejamento dos recursos hídricos utiliza de informações do tipo de manejo, de cobertura e de uso e ocupação do solo, pois, segundo Vanzela, Hernandez e Franco (2010), a qualidade da água de uma bacia é influenciada diretamente por estes. Igualmente, se constitui como fonte de informação para o planejamento dos recursos hídricos e o levantamento da aptidão agrícola das terras. Esta permite realizar interpretações para atividades agrícolas, classificando as terras de acordo com sua aptidão para diversas culturas, em condições de manejo e viabilidade de melhoramento

mediante uso de novas tecnologias (Valladares; Hott; Quartaroli, 2008). De acordo com Pedron et al. (2006), o planejamento dos recursos naturais visando à sustentabilidade necessita da determinação de áreas com conflitos de uso. Por conflito de uso entende-se a utilização do solo em desacordo com um uso preconizado por lei, o que causa problemas ambientais e afeta a disponibilidade de recursos naturais importantes à vida. Como exemplo de conflito de uso, tem-se o processo de substituição das paisagens naturais por outros usos e ocupações do solo e a conversão das áreas com cobertura florestal em fragmentos florestais, situação visualizada em muitas Áreas de Preservação Permanente (APP) (Ares, 2006). Ainda exemplificando os conflitos de uso, cita-se o déficit de reserva legal que, segundo Brito (2016), representa as áreas de Reserva Legal (RL), ilegalmente desflorestadas e que devem, portanto, ser restauradas ou compensadas.

Outra fonte de informação para o planejamento dos recursos naturais é o cômputo de índices de qualidade ambiental. Os índices de qualidade ambiental retratam as condições do ambiente, estabelecendo metas desejáveis de serem alcançadas (Sousa, 2008). Nesse sentido, o índice de cobertura vegetal natural é um importante indicador da qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica (Paula Junior; Pompermayer, 2007), sendo considerado “indicador-base”, isto é, deve ser considerado em qualquer proposta de indicadores ambientais (Pompermayer, 2003). De uma maneira geral, embora a análise puramente quantitativa tenha suas limitações, esta pode ser bastante conveniente quando conjugada com aspectos qualitativos e de distribuição espacial e temporal (Sousa, 2008).

O uso integrado dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e imagens de satélite de alta resolução é uma ferramenta de planejamento dos recursos naturais que permite a detecção precisa dos fragmentos remanescentes, seus estados de conservação e as áreas em que o uso da terra se encontra conflitante com a legislação ambiental vigente (Brito et al., 2007; Oliveira et al., 2008). Também possibilita o cálculo de índices espaciais que são capazes de descrever o uso do solo (Calegari et al., 2010). O SIG permite a manipulação de grandes quantidades de dados, avaliação de elementos de interesse e, ainda, auxilia no desafio de tornar as informações mais compreensíveis ao usuário final (Freitas et al., 2013).

Segundo Flauzino et al. (2010), a alteração dos fatores naturais e a influência antrópica indiscriminada são responsáveis por constantes alterações nos cursos d'água do Cerrado brasileiro, bioma uma importante

área de contribuição hídrica para grandes bacias hidrográficas brasileiras e do qual a área deste estudo faz parte. Nesse contexto, o diagnóstico das características físicas de uma bacia hidrográfica se torna uma ferramenta importante para fornecer subsídios à gestão das bacias e promover intervenções no sentido de se conservar os recursos naturais existentes.

Assim, o objetivo deste capítulo é caracterizar a bacia hidrográfica do Rio Claro – Minas Gerais em relação ao seu uso e ocupação, identificar os conflitos de aptidão e de uso e ocupação do solo, quantificar o déficit de reserva legal, quantificar o índice de cobertura vegetal e propor cenários de ampliação deste índice.

2.2 Material e métodos

A área objeto de estudo desta obra foi caracterizada no Capítulo 1, subtítulo 1.4. Para a avaliação da dinâmica do uso e ocupação do solo utilizou-se imagens RapidEye com resolução espacial de 5 m, do ano de 2015, obtidas junto ao Ministério do Meio Ambiente.

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi obtido a partir da classificação orientada a objetos por meio do software eCognition Developer 9.0TM, seguindo a metodologia de Diniz et al. (2014). Para a segmentação da sub-bacia extraída da cena, utilizou-se algoritmo de multi resolução que utiliza de critérios de homogeneidade, além de um parâmetro de escala para assim delimitar os objetos complexos que compõe a paisagem (Baatz; Schaape, 2000), sendo possível agrupar pixels próximos com atributos similares em regiões ou objetos. As rotinas computacionais foram realizadas no software ArcGis®10.1.

Como critério para a delimitação das APPs, considerou-se o preconizado na Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, que dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais. Para a drenagem principal (Rio Claro), as faixas de largura relacionadas às APPs nas margens de rio foram definidas por amostragem aleatórias de trechos do Rio Claro no programa Google Earth®. Para os afluentes, optou-se por padronizar as APPs em todo o trecho dos cursos d'água criando-se faixas de 30 m e para as áreas de nascentes faixas de 50 m de raio.

O mapa de Aptidão Agrícola da Bacia do Rio Claro foi elaborado por meio do recorte, reclassificação (apenas em grupos de aptidão) e reamostragem (para células de 25m) do Mapa de Aptidão Agrícola de Minas Gerais (Silva, 2014), elaborado em acordo com a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995). O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícolas das Terras (SAAAT), de Ramalho Filho, Pereira e Beek (1978) é um sistema que avalia o potencial da terra para lavouras e para outros tipos de utilização menos intensivos. Nesse sistema, o grupo de aptidão agrícola identifica o tipo de utilização mais intensivo das terras, ou seja, sua melhor aptidão, melhor detalhado no Quadro 2.1.

No Mapa de Conflito de Usos, foram consideradas sob uso conflitante todas as áreas presentes nas APPs que não eram de vegetação nativa, assim como no estudo de Alves e Rossete (2007) e Freitas et al. (2013). Para a elaboração do Mapa de Conflitos de Aptidão, foram consideradas sob uso conflitante as áreas com uso do solo em desacordo com o grupo de aptidão agrícola de maior restrição ao uso agrícola. Sendo assim, foram consideradas em conflito de aptidão as áreas utilizadas acima do potencial agrícola, ou seja, as áreas no grupo mais restritivo de uso encontrado na área (grupo 5) que, segundo a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995), não condiziam com floresta plantada ou campos hidromórficos, tendo em vista que entende-se que as áreas dos grupos 1, 2 e 3 que não condizem com agricultura estão apenas subutilizadas, não se caracterizando como um problema ambiental; e áreas do grupo 4 e 6 não foram encontradas na área de estudo. Assim como Chaves et al. (2010), a classe de uso Solo Exposto foi associada à Agricultura, pois representa as áreas preparadas para cultivos e a classe Antrópico foi desconsiderada, uma vez que não se trata de área agrícola.

As informações para o cálculo da Área de Reservas Legais na bacia do Rio Claro foram obtidas na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), extraídas do Cadastro Ambiental Rural (CAR) de Minas Gerais, até julho de 2016. Os dados oriundos do presente cadastro tratavam até o momento de informações declaratórias e, portanto, ainda não haviam sido avaliadas pelo órgão ambiental competente. O déficit de reserva legal foi calculado pela subtração das áreas declaradas pela SEMAD das áreas com vegetação nativa nestas áreas, retiradas do Mapa de Uso e Ocupação do Solo elaborado neste estudo.

Quadro 2.1 - Caracterização dos grupos de aptidão agrícola das terras

Grupo de Aptidão	Caracterização
1	Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo.
2	Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo.
3	Terras com aptidão restrita para lavouras de ciclo curto e/ou longo.
4	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada.
5	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura ou pastagem natural.
6	Terras sem aptidão agrícola.

Fonte: Adaptado de Silva (2014).

A caracterização da bacia em relação a sua vegetação foi obtida por meio da determinação do índice de cobertura vegetal natural; calculado pela relação entre a área com cobertura vegetal natural e a área de drenagem total da unidade hidrográfica (Magalhães Jr.; Nascimento, 2002; Paula Junior; Pompermayer, 2007; Pompermayer, 2003). Após isso, simulou-se cenários de ampliação do Índice de Cobertura Vegetal Natural, Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Cenários de ampliação do Índice de Cobertura Vegetal Natural

Cenários	Descrição
Cenário 1	Restauração das APPs existentes na área junto à vegetação natural.
Cenário 2	Faixa de 50 m de vegetação acrescido a toda faixa de APPs recuperadas junto à vegetação natural.
Cenário 3	Faixa de 50 m de vegetação acrescido a toda a vegetação nativa existente e APPs restauradas.
Cenário 4	Restauração das RLs existentes na área junto à vegetação natural.
Cenário 5	Faixa de 50 m de vegetação acrescido as RLs recuperadas junto a vegetação natural.
Cenário 6	Faixa de 50 m de vegetação acrescido a toda a vegetação nativa existente e RLs restauradas.
Cenário 7	Restauração das APPs existentes na área junto à vegetação natural.
Cenário 8	Faixa de 50 m de vegetação acrescido as APPs recuperadas junto à vegetação natural.
Cenário 9	Faixa de 50 m de vegetação acrescido a toda a vegetação nativa existente e APPs restauradas.

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

As faixas de ampliação da vegetação foram baseadas no estudo de Lima e Rodrigues (2006 apud Francisco, 2006, p.10) que conduziram estudo em APP no bioma Cerrado, mesmo bioma em que se localiza a área deste estudo, e verificaram que fragmentos de vegetação nativa distante 50 m da APP podem propiciar um significativo aporte de sementes para a área a ser recuperada.

A ampliação de cada cenário em relação à condição atual foi calculada pela Equação 2.1:

$$\left(1 - \frac{\text{Porcentagem de Cobertura Vegetal Nativa no Cenário } x}{\text{Porcentagem de Cobertura Vegetal Nativa no Cenário Atual}}\right) \times 100 \quad (2.1)$$

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Uso e cobertura do solo

Os tipos de uso e coberturas do solo encontrados neste estudo estão detalhados na Figura 2.1 e na Tabela 2.1, com os valores da área em km² e porcentagem para o ano de 2015.

Observa-se que o uso predominante na bacia foi a classe agricultura, encontrada em 59,8% da área de estudo. Em levantamento do uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Claro, em 2001, Soares (2002) também afirma que a cobertura vegetal predominante na bacia era originária da ação antrópica. No entanto, na área dissecada predominavam as pastagens plantadas e, em menor número, as culturas anuais e de subsistência, demonstrando assim mudança no uso predominante. Adicionalmente, Flauzino et al. (2010) em seu estudo na bacia do rio Paranaíba, bacia da qual a Bacia do Rio Claro é pertencente, observaram que a cobertura vegetal natural na bacia do rio Paranaíba cede lugar, sobretudo, às atividades agropecuárias e à instalação de usinas hidrelétricas, modificando assim suas características naturais originais. Flauzino et al. (2010) ainda destacam que o uso da terra para as atividades agropecuárias é o grande responsável pela devastação da cobertura vegetal remanescente. Destaca-se o uso Floresta Plantada em segundo lugar de maior uso distinto à vegetação natural, correspondendo à 12,5% da área. Nardini et al. (2014) reforçam esse resultado quando afirmam que os cerrados vêm diminuindo progressivamente pela utilização de suas áreas, principalmente com culturas de alto retorno econômico, como é o caso do reflorestamento. Sousa et al. (2015) também trabalharam com uma sub-bacia

do Rio Araguari (Bacia Desemboque), e observaram a redução da floresta nativa e ampliação da floresta plantada nos anos de estudo, corroborando os resultados deste estudo.

Em relação à cobertura vegetal natural, a bacia apresenta 293,29 km²; correspondendo 25,8%, sendo 6,2% de mata. Soares (2002) também afirma que, em 2001, a vegetação natural era composta de manchas de matas e as diferentes fisionomias do Cerrado. Sobre a importância das áreas ocupadas por matas, Vanzela, Hernandez e Franco (2010) afirmam que estas favorecem o aumento da vazão específica de um rio em virtude da maior cobertura, estabilidade e infiltração de água no solo, além de promoverem redução da intensidade do escoamento superficial contribuindo também para a melhoria da qualidade da água.

Tabela 2.1- Quantificação das classes de uso e ocupação do solo

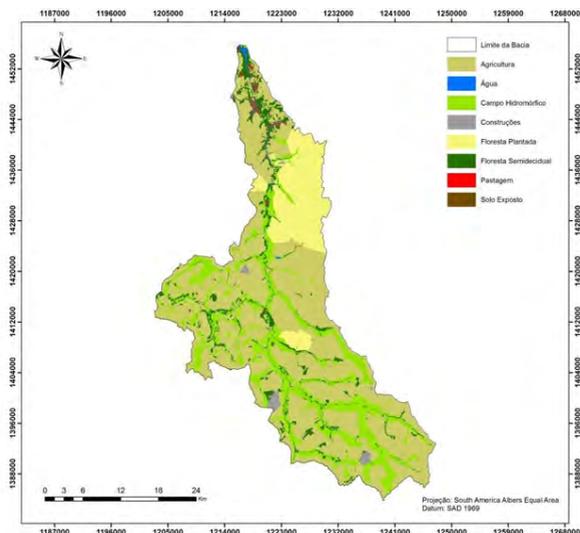
CLASSES	ÁREA	
	km ²	%
Agricultura	682,42	59,8
Campo Hidromórfico	223,08	19,6
Floresta Plantada	142,80	12,5
Floresta Semidecidual	70,21	6,2
Antrópico	9,82	0,9
Pastagem	7,44	0,7
Água	4,22	0,4
Solo exposto	0,55	0,0
TOTAL	1140,53	100

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Os resultados encontrados na Bacia do Rio Claro são similares aos encontrados no estudo de Flauzino et al. (2010), onde somente cerca de 28% da cobertura vegetal natural se encontra preservada, enquanto cerca de 70% da área em estudo se encontra utilizada por algum tipo de atividade antrópica (atividade agrícola, pastagem, ocupação urbana, áreas de mineração, entre outras). A partir dos resultados encontrados, Flauzino et al. (2010) afirmam que isso demonstra um uso desmedido dos recursos naturais da bacia do rio Paranaíba, o que compromete seriamente a biodiversidade e os cursos d'água presentes nesta área. Esta premissa foi seguida para a área deste estudo, destacando o comprometimento da biodiversidade e cursos d'água presentes na área de estudo, ressaltando a necessidade de ações de conservação.

Segundo Rosa et al. (2014), a predominância da agricultura representa uma grande possibilidade à implantação do Pagamento por Serviços Ambientais relacionados a Água (PSA-Água), uma vez que a conservação do solo e a consequente melhoria na produção poderiam garantir um maior envolvimento dos provedores e de suas respectivas propriedades, as quais potencialmente possuirão fragmentos de floresta e/ou vegetação inicial. Sendo assim, os resultados encontrados na bacia do Rio Claro encaixam a bacia nesta prerrogativa.

Figura 2.1- Uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Claro - MG no ano de 2015



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

2.3.2 Áreas Protegidas

As Áreas Protegidas dentro da bacia do Rio Claro são compostas pelas APPs e RLs, totalizando 176,14 km², o que representa 15,44% da área da bacia.

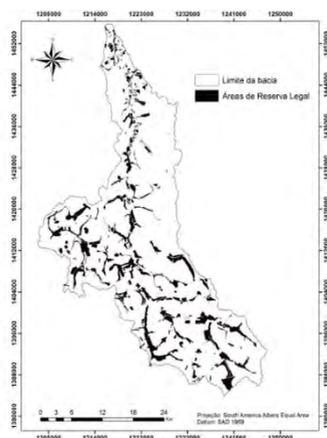
Considera-se este valor baixo, pois não atende ao valor de 20% de área total por proprietário ou possuidor de imóvel rural, precognizado apenas para o computo de Reserva Legal, indicado pelo Código Florestal Mineiro (Minas Gerais, 2013). Britto (2016) corrobora este resultado quando afirma que no Cerrado predominam baixos níveis áreas protegidas.

2.3.4 Reserva Legal

As Reservas Legais totalizam 150,05 km² (Figura 2.2), correspondendo a 13,2% de toda a área da Bacia do Rio Claro. Esse valor não atende o valor mínimo de 20% da área total a título de Reserva Legal, indicado pelo Código Florestal Mineiro (Minas Gerais, 2013), demonstrando que alguns proprietários ainda não haviam se autodeclarado no CAR, ou que estas propriedades estão irregulares. Este valor compromete o mínimo de vegetação indicado pela legislação para alcançar benefícios ambientais, área necessária ao uso sustentável dos recursos, à conservação e à reabilitação dos processos ecológicos, da biodiversidade e ao abrigo e proteção da fauna e flora; assegurado pela legislação como funções da reserva legal.

Da área total declarada, 136,68 km² estão cobertos por vegetação nativa (Campo Hidromórfico e Floresta Semidecidual). O déficit de Reserva Legal da bacia é de 13,37 km², demonstrando que 8,9% da área de reservas legais devem ser regeneradas, pois se encontram sem vegetação nativa. O déficit de Reserva Legal estimado por Soares-Filho et al. (2014) para a área ocupada pelo Bioma Cerrado foi de 46.000 km².

Figura 2.2 - Distribuição das Áreas de Reserva Legal na bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

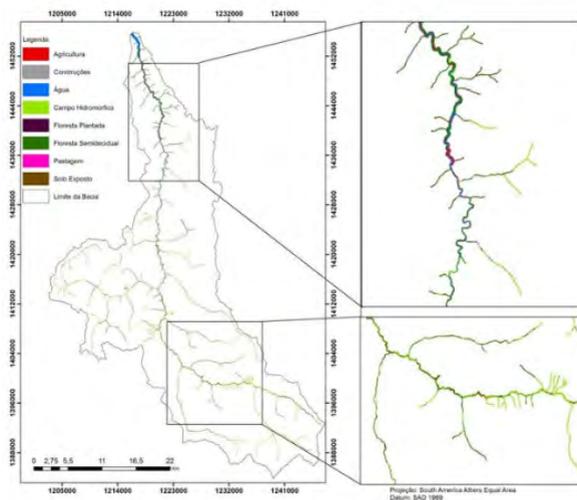
2.3.3 APP e conflitos de uso

As APPs na Bacia do Rio Claro, que totalizam 34,59 km² (2,99%) de toda a área da bacia, correspondem a APPs de rede de drenagem e

nascente. Por conta do relevo plano da região não foram identificadas APPs de topo de morro ou relacionadas à declividade, como preconizado pelo Código Florestal Mineiro (Minas Gerais, 2013). As áreas que deveriam ser de APPs e seus usos atuais estão ilustrados na Figura 2.3, e os valores em porcentagem e área podem ser observados na Tabela 2.2.

Observa-se que 83,6% da Bacia do Rio Claro está em conformidade com a legislação no que se refere às APPs. As APPs da bacia do Rio Claro se encontram predominante protegidas por vegetação, atingindo, juntamente com a hidrografia, 93,24% da área total de preservação permanente, mostrando que a legislação está sendo seguida nesta bacia e trazendo benefícios ambientais à área. Contudo, 6,76% das APPs estão em uso conflitante. Concordando com Rosa et al. (2014), esta porcentagem demonstra a necessidade de incentivos à restauração, visto que Rheinheimer et al. (2003) observaram que a transformação de áreas com vegetação natural em lavouras e outros usos antrópicos ocasiona desequilíbrio ambiental, afetando a qualidade da água devido aos diversos insumos utilizados na agricultura.

Figura 2.3 - Uso e cobertura do solo dentro das APPs da Bacia do Rio Claro- MG no ano de 2015



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

No caso dos usos do solo conflitantes, prevalecem a agricultura (5,27%) e a pastagem (1,3%), o que para Nusdeo (2012) indica existir

uma demanda ao atendimento da legislação ambiental como foco de um projeto de PSA-Água. A situação dessas APP's torna as propriedades não cumpridoras de sua função socioambiental na proteção dos recursos hídricos. Pedron et al. (2006) relata que 58% do total das APPs em sua área de estudo estavam sendo utilizadas inadequadamente sob a forma de lavouras e pastagens.

Tabela 2.2- Uso do solo nas APPs na Bacia do Rio Claro, Minas Gerais; para o ano de 2015

CLASSE	ÁREA	
	km ²	%
Campo Hidromórfico	14,53	42,70
Floresta Semidecidual	13,92	40,91
Água	3,30	9,63
Agricultura	1,79	5,27
Pastagem	0,44	1,30
Floresta Plantada	0,06	0,17
Solo exposto	0,00	0,01
Antrópico	0,00	0,01
TOTAL	34,59	100

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Considerando-se as APPs da bacia em uso conflitante, devem ser recuperados 230 ha (2,3 km²) de florestas.

2.3.5 Aptidão do solo e conflitos de aptidão

A aptidão agrícola da área de estudo está espacializada na Figura 2.4 e os valores em porcentagem e área podem ser observados na Tabela 2.3.

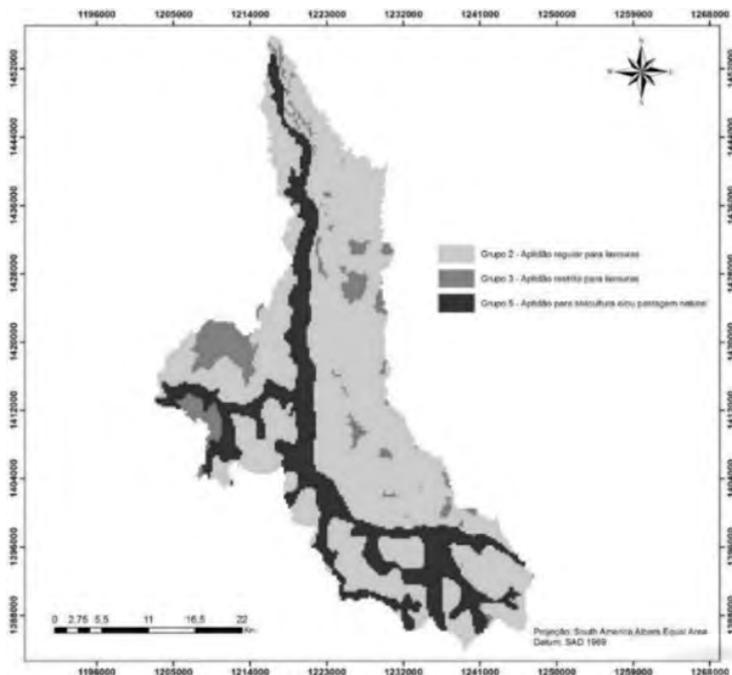
Tabela 2.3 - Valores em porcentagem e área dos grupos de Aptidão Agrícola na Bacia do Rio Claro - MG

	Área	
	km ²	%
Grupo 2	776,01	68,2
Grupo 3	82,79	7,3
Grupo 5	279,29	24,5
TOTAL	1138,09	100,0

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A Bacia do Rio Claro apresenta 75,5% de sua área com alguma aptidão para lavouras anuais; e 24,5% da área não possui aptidão para lavouras anuais, devendo ser destinada a pastagens, silvicultura e preservação natural. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Pedron et al. (2006) em seu estudo em São João do Polêsine, Rio Grande do Sul, onde 70% da área possuía alguma aptidão para lavouras anuais e 30% eram áreas sem aptidão para lavouras anuais.

Figura 2.4 - Aptidão Agrícola da Bacia do Rio Claro



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Os valores em porcentagem dos usos dentro da classe 5 de aptidão agrícola podem ser observados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Uso do solo dentro da Classe 5 de Aptidão Agrícola na Bacia do Rio Claro, Minas Gerais

CLASSE DE USO	ÁREA	
	km ²	%
Agricultura	167,28	59,9
Campo Hidromórfico	79,92	28,6
Floresta Semidecidual	23,36	8,4
Antrópico	3,47	1,2
Floresta Plantada	1,97	0,7
Pastagem	1,84	0,7
Água	1,28	0,5
Solo exposto	0,17	0,1
TOTAL	279,29	100,0

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A partir da análise da tabela 2.4, dos 279,29 km² aptos apenas para silvicultura (floresta plantada) ou pastagem natural (entendido como campos hidromórficos neste estudo), 60,6% (169,12 km²) estão em conflito de aptidão, sendo utilizadas em desacordo com sua aptidão por agricultura (e solo exposto) e pastagem. Estes valores colocam em sobrecarga as terras que, segundo a metodologia SAAAT, classifica as terras de acordo com suas limitações. Isso significa que 14,89% da área da bacia do Rio Claro está utilizada acima do seu potencial agrícola, caracterizando-se em um problema ambiental, já que trabalha acima das limitações das terras para uso agrícola, o que contribui efetivamente para a degradação acelerada do sistema e a escassez do recurso solo.

Pedron et al. (2006) e Chaves et al. (2010) também encontraram conflitos de aptidão em seus estudos, porém os valores foram mais baixos que os da bacia do Rio Claro - MG. Pedron et al. (2006) observaram 27,9% das terras utilizadas de maneira inadequada, principalmente pela presença de lavouras e pastagens em áreas com aptidão apenas para silvicultura e preservação natural, os mesmos usos conflitantes encontrados para a bacia deste estudo. Chaves et al. (2010) observaram que 6,35% da área estavam sendo utilizados acima do potencial agrícola, sendo 1,86% em uso inadequado da Classe 5 por Agricultura.

De acordo com Resende et al. (2007), a metodologia do SAAAT realiza a avaliação das terras, baseando-se em cinco parâmetros do ambiente considerados fundamentais para as culturas, numa síntese do ecossistema, sendo eles a fertilidade natural, deficiência de água, deficiência de

oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. Sendo assim, destaca-se a problemática ambiental inserida no contexto diagnóstico na bacia, onde a maior parte da classe mais restritiva está sendo super utilizada, exaurindo recursos por meio da utilização de parâmetros fundamentais para as culturas acima dos limites definidos.

2.3.6 Índice de cobertura vegetal natural

Segundo Reis (2004), tendo em vista o valor que a cobertura florestal impõe ao manancial de abastecimento público, que embute aspectos de risco à saúde e custos de tratamento da água, é pertinente a utilização do percentual de cobertura florestal de uma bacia de abastecimento público como primeiro indicativo da qualidade das águas dessa bacia e de seus reflexos sobre os custos do tratamento de suas águas.

O Índice de Cobertura Vegetal Natural da bacia do Rio Claro é 0,258, resultado que, segundo Flauzino et al. (2010), demonstra um uso desmedido dos recursos naturais da bacia comprometendo seriamente a biodiversidade e os cursos d'água presentes. Paula Junior e Pompermayer (2007) avaliaram os índices de cobertura vegetal natural de 7 sub-bacias no estado de São Paulo. De modo geral, os resultados indicaram que os índices de cobertura vegetal natural das bacias analisadas foram baixos, sendo os maiores valores verificados nas sub-bacias dos rios Atibaia (0,12) e Jundiá (0,13).

Reis (2004), analisando a relação entre os custos de tratamento das águas a porcentagem de cobertura vegetal de sub-bacias no estado de São Paulo, verificou que os sistemas que se utilizam dos mananciais que têm percentual de cobertura florestal superior a 15% têm os menores custos específicos totais. Os mananciais que apresentam maior variação na turbidez média, entre a estação chuvosa e a estiagem, são aqueles que possuem índices de cobertura florestal inferiores a 15%. O estudo mostra a importância da manutenção de florestas em mananciais de abastecimento público, alertando que a cobertura florestal possui papel relevante sobre a proteção da qualidade dos recursos hídricos e que sua supressão implica em maiores custos sociais, seja pelo aumento do custo de tratamento das águas, seja pelo aumento dos riscos à saúde. Comprovando estas constatações, cita-se a cidade Nova York que optou por adquirir e recuperar por meio de um PSA áreas da bacia de Catskill, ao invés de construir uma complexa estação de tratamento de água, economizando no processo mais de US\$ 3 bilhões (The Catskill Center, 2004).

Acreditando nesta relação entre qualidade de recursos hídricos, custos de tratamento e cobertura vegetal, propôs-se a ampliação do Índice de Cobertura Vegetal da Bacia do Rio Claro (Tabela 2.5).

Tabela 2.5- Cenários simulados e suas respectivas áreas de cobertura vegetal, áreas de vegetação ampliadas, Índices de Cobertura Vegetal e porcentagem de ampliação equivalentes.

Cenários	Área(km ²)	Área de Vegetação Ampliada (km ²)	Índice	Ampliação do Índice (%)
Cenário 1	298,67	5,38	0,262	1,51
Cenário 2	300,31	7,02	0,263	2,05
Cenário 3	371,68	78,39	0,326	26,32
Cenário 4	311,73	18,44	0,273	5,93
Cenário 5	337,60	44,31	0,296	14,73
Cenário 6	530,14	236,85	0,465	80,16
Cenário 7	316,48	23,19	0,278	7,56
Cenário 8	354,70	61,41	0,311	20,54
Cenário 9	550,00	256,71	0,482	86,9

Fonte: Sousa e Coelho (2023)

Analisando a Tabela 2.5, apesar dos Cenários 1 a 5 trazerem incremento em áreas a serem vegetadas e, conseqüentemente, no Índice de Cobertura Vegetal Natural, estes não são cenários ideais, tendo em vista que ampliam áreas ao redor de apenas uma das categorias de APs (APP ou RL) e o ideal é o atendimento a legislação, com essas duas categorias restauradas.

No Cenário 6, acredita-se que a faixa de 50 m de vegetação acrescido as RLs restauradas e a toda a vegetação nativa existente, englobaria o déficit nas APPs, devido ao grande acréscimo na porcentagem de cobertura vegetal (46,48%), apresentando-se um bom cenário de conservação para a bacia.

O Cenário 7, que visa a restauração das AP (APPs e RLs), ampliaria em 7,56% o Índice de Cobertura Vegetal Natural, correspondendo a 27,75% (316,48 km²) de Cobertura de Vegetação Nativa. Vale destacar que este é o cenário que deveria existir na bacia, tendo em vista que pela legislação essas áreas são protegidas e deveriam ser cobertas por vegetação nativa. Destaca-se que os dados de RL utilizados no estudo são auto-declaratórios e ainda não atendem aos 20% preconizado no

Código Florestal Mineiro. A área restaurada seria de 23,19 km², significando 199,33 km² de APs; o que corresponde a 17,47% da área da bacia, representando ampliação de 13,17% na área atual de APs da região. Apesar desta ampliação no índice, o valor de APs ainda não atende o valor mínimo de 20% de área total por proprietário ou possuidor de imóvel rural, preconizado apenas para o computo de Reserva Legal, indicado pelo Código Florestal Mineiro (Minas Gerais, 2013); demonstrando que áreas de Reserva Legal ainda não haviam sido declaradas até a elaboração do estudo.

Observa-se que mesmo restaurando as APs; a porcentagem de vegetação ainda compromete a bacia, segundo os resultados do estudo de Flauzino et al. (2010). Sendo assim, o Cenário 8 propõe uma faixa de 50 m de vegetação acrescido a todas APs recuperadas, resultando na ampliação de 20,54% do Índice de Cobertura Vegetal Natural, correspondendo a 31,1% (354,7 km²) de Cobertura de Vegetação Nativa. No Cenário 9, onde uma faixa de 50m de vegetação seria acrescido a toda a vegetação nativa existente e APs restauradas, ampliaria em 86,9%; elevando a 48,22% (550 km²) de Cobertura de Vegetação Nativa.

Os resultados deste estudo corroboram Brito (2016) ao constatar que a ampliação da vegetação evidencia a estocagem de carbono como serviço ecossistêmico importante oferecido pelo Cerrado, além da própria conservação da biodiversidade e proteção dos recursos hídricos. Sendo assim, as áreas indicadas para a ampliação do Índice de Cobertura Vegetal Natural poderiam participar de um Programa de Pagamento por Serviços Ambientais, tendo em vista também que a maior parte dos casos de PSA visa aumentar a disponibilidade e/ou qualidade da água.

As áreas indicadas para a ampliação da vegetação nativa neste estudo, principalmente nos cenários 2, 5 e 8 que tratam da ampliação da vegetação nas bordas das áreas protegidas já existentes; poderiam participar do sistema de Cotas de Reserva Ambiental (CRA); previsto no Código Florestal (Brasil, 2012). De acordo com a norma, o proprietário de imóvel rural, que mantiver a Reserva Legal conservada e averbada em área superior ao legalmente exigido, poderá instituir servidão do excedente por meio de CRA. Soares-Filho et al. (2014) reforçam que o uso das CRAs poderia criar um mercado de negociação de terras florestadas, por meio da atribuição de valor monetário à vegetação nativa, reduzindo em 56% o déficit de Reserva Legal do país. Ainda segundo Soares-Filho et al. (2014), a proteção de florestas que poderiam ser legalmente desmatadas se daria pelo aumento da facilidade em cumprir o Código Florestal

Brasileiro pelo comércio de CRAs (com menores custos do que os da restauração florestal).

2.3 Conclusões

Entre os usos do solo na bacia hidrográfica do Rio Claro - MG, a agricultura é o uso predominante, a qual possui 14,89% da área utilizada acima do potencial agrícola.

Em relação ao conflito de uso em APPs, 83,6% da Bacia do Rio Claro está conformidade com a legislação e 6,76% das APPs estão em uso conflitante, que podem afetar a produção de água da bacia. A bacia possui 13,37 km² de déficit de reserva legal.

O Índice de Cobertura Vegetal Natural da Bacia do Rio Claro foi de 26%.

Os cenários simulados apresentaram ampliação do Índice de Cobertura Vegetal Natural em até 86,9% no Cenário 9, onde uma faixa de 50 m de vegetação seria acrescido a toda a vegetação nativa existente e APs restauradas.

A quantidade de cobertura vegetal nativa remanescente associada à pressão e conflitos dos usos incidentes evidenciam a necessidade de planejamento do uso das terras e inclusão do território em mecanismos de conservação e de restauração ecológica, podendo se utilizar de mecanismos inovadores, tais como incentivos econômicos de PSA para alcançarem os objetivos de gestão.

Capítulo 3

Definição de Áreas Prioritárias de Conservação de Água (APCAs) como um instrumento para a gestão de recursos hídricos na bacia do Rio Claro

3.1 Introdução

O crescimento urbano e agrícola é uma das maiores causas de degradação dos recursos hídricos e dos ecossistemas naturais.

A supressão de áreas florestais e sua substituição por outros tipos de uso do solo podem contribuir de forma significativa para os processos de geração, transporte e deposição de sedimentos nos canais de drenagem (Vettorazzi, 2006; Sartori et al., 2012). Chaves e Santos (2009) e Fengler et al. (2015) destacaram que as bacias hidrográficas mais impactadas no tocante à qualidade e à disponibilidade da água são aquelas que sofrem processo de ocupação acelerada e não planejada.

Segundo os estudos de Hunsaker, Jackson e Simcock (1998); Rhodes, Newton e Pufall (2001) e Chaves e Santos (2009), bacias hidrográficas com maiores proporções de cobertura vegetal e áreas ripárias protegidas apresentam melhor qualidade de água. Nessa perspectiva, um planejamento adequado do uso e cobertura do solo auxiliam a garantia de uma oferta de água em quantidade e qualidade adequadas (Sartori et al., 2012), tendo em vista que o tipo de uso e o manejo do solo são fatores determinantes para a quantidade e qualidade da água em bacias hidrográficas (Hunsaker; Jackson; Simcock, 1998; Chaves; Santos, 2009).

A vegetação tem efeito direto na segurança hídrica, tornando-se importante a adoção de ações de planejamento, conservação e recuperação da vegetação na gestão dos recursos hídricos, principalmente em

áreas que influenciam diretamente a produção e a conservação da água, em quantidade e qualidade.

Nesse processo de priorização, pode-se efetivamente direcionar recursos específicos e esforços para o desenvolvimento de políticas públicas ambientais (Mello, Toppa; Cardoso-Leite, 2016).

Segundo Collins et al. (2001) e Valente e Vettorazzi (2008), a análise das áreas prioritárias visa identificar o padrão espacial mais apropriado para futuras utilizações do solo, de acordo com requisitos específicos, preferências ou fatores preditores de alguma atividade ou objetivo, sendo a espacialização das ações um aspecto importante do planejamento de conservação (Phua; Minowa, 2005; Valente; Vettorazzi, 2008).

A análise multicritério (AMC) é um dos processos de tomada de decisão dos empregados na priorização de áreas e sua integração com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem sido considerada um avanço ao procedimento convencional de sobreposição de mapas (Thill, 1999; Eastman, 2001; Malczewski, 2006; Valente; Vettorazzi, 2008), por sua capacidade de integrar conjuntamente diferentes fatores (Valente; Vettorazzi, 2011; Silveira; Vettorazzi; Valente, 2014).

O SIG é reconhecido como um sistema de apoio à decisão, envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados em um ambiente de resolução de problemas (Cowen, 1988; Sartori et al., 2012). As análises multicritério (AMC) são ferramentas de apoio ao planejamento e à decisão, em que, por meio de técnicas estatísticas e matemáticas, fundamentada em vários critérios (Roy, 1996), criam-se condições que possibilitam a combinação e a comparação de cenários, evidenciando o gerenciamento de opções de escolha (Grisotto et al., 2012); com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (Roy, 1996; Barbosa; Furrier; Lima, 2013). Os métodos multicritério conjugam aspectos objetivos (quantitativos) com subjetivos (qualidade), permitindo estruturar os problemas com um grande número de atributos (critérios de avaliação) que são organizados para apoiar a tomada de decisão (Miranda, 2008; Barbosa; Furrier; Lima, 2013).

A utilização da AMC como forma de planejamento da restauração florestal tem mitigado a supressão de áreas florestais e sua substituição por outros tipos de uso do solo (Vettorazzi, 2006; Sartori et al., 2012), influenciando diretamente a conservação dos recursos hídricos. A determinação de áreas prioritárias para a restauração florestal no âmbito de uma bacia hidrográfica considerando critérios múltiplos, tais como

geologia, declividade, tipos de solo, áreas de mananciais, conectividade entre fragmentos, entre outros, pode contribuir não apenas para garantir a produção agrosilvopastoril sustentável, mas também para aperfeiçoar a prestação de serviços ecossistêmicos fundamentais como a produção de água (Toledo, 2005; Rezende; Pires; Veniziani Júnior, 2011).

O objetivo deste capítulo é apresentar uma metodologia que se utiliza da ferramenta de análise de multicritério em ambiente SIG para auxiliar na identificação de áreas prioritárias a conservação de água (APCAs), visando à conservação e à restauração florestal, tendo em vista a conservação de recursos hídricos na bacia do Rio Claro – Minas Gerais.

3.2 Material e métodos

A área objeto de estudo desta obra foi caracterizada no Capítulo 1, subtítulo 1.4.

Para a elaboração do Mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação de Água, empregou-se a abordagem multicriterial (AMC), que tem por base critérios que podem ser tanto fatores como restrições (Eastman, 2001), em ambiente SIG (Arc Gis® 10.1™), empregando-se o método de Combinação Linear Ponderada (CLP). Segundo Sartori et al. (2012), neste método, uma vez que os mapas de critérios (fatores e restrições) tenham sido gerados, é uma simples questão de multiplicar cada mapa de fator (isto é, cada célula, ou pixel, de cada mapa) pelo seu peso e, então, somar os resultados.

A definição dos critérios a serem empregados na análise foi orientada por pesquisa bibliográfica e consulta a especialistas da área. Os fatores considerados importantes para o objetivo do estudo foram elaborados de forma que cada mapa foi associado ao limite da área de estudo, para a obtenção das distâncias somente dentro da área da bacia. Os fatores selecionados foram: Vegetação Nativa (VN), Proximidades à Vegetação Nativa (PVN), Proximidade à Reserva Legal (PRL), Áreas de Preservação Permanente (APP), Proximidade à APP (PAPP), Proximidade à rede de drenagem (PRD), Proximidade à rede de drenagem em função da ordem de canais de drenagem (PRDOC), Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos (VNRH), Potencial Natural de Erosão (PNE), Aptidão Agrícola (AptA).

Segundo Vettorazzi (2006), a função das restrições é limitar as

alternativas sob consideração. As restrições deste estudo foram os próprios limites da bacia.

O fator Vegetação Nativa foi elaborado identificando esta classe em imagens RapidEye com resolução espacial de 5 m, do ano de 2015; obtidas junto ao Ministério do Meio Ambiente; por meio de classificação orientada a objetos, seguindo a metodologia de Diniz et al. (2014) e utilizando o software eCognition Developer 9.0™.

O fator Proximidade à Vegetação Nativa (Figura 3.1) foi elaborado a partir do mapeamento do fator vegetação nativa. Lima e Rodrigues (2006 apud Francisco, 2006, p.10) conduziram estudo em APP no bioma Cerrado, mesmo bioma em que se localiza a área deste estudo; e verificaram que fragmentos de vegetação nativa distante 50 m da APP podem propiciar um significativo aporte de sementes para a área a ser recuperada. Baseado neste estudo e nas faixas definidas como APP no Código Florestal (Brasil, 2012), adotou-se como limite mínimo 50 m de distância para que este fragmento tivesse alguma influência na ocorrência de dispersão de sementes na área a ser conservada, medidos da borda do fragmento de vegetação nativa, dando maior prioridade para conservação e recuperação àquelas áreas que estiverem localizadas mais próximas e dentro desse raio de ação, assim como no estudo de Francisco (2006).

Desse modo, o Quadro 3.1 apresenta as classes definidas para a elaboração dos mapas referentes à Proximidade à Vegetação Nativa, Proximidade à Reserva Legal e Proximidade à APP, elaborado pelo operador de distância euclidiana disponível no SIG, sendo quanto mais próxima ao fragmento maior a prioridade (Francisco, 2006; Valente, 2005).

O fator Proximidade a Reservas Legais (Figura 3.2) foi elaborado utilizando-se as informações autodeclaratórias dos proprietários da região fornecidas pela base de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) de Minas Gerais. Justamente por ser autodeclaratória, optou-se por gerar um mapa apenas das proximidades à reserva, e não da sua existência em si como no caso da vegetação nativa e APP. A proximidade foi definida utilizando as classes descritas no Quadro 3.1.

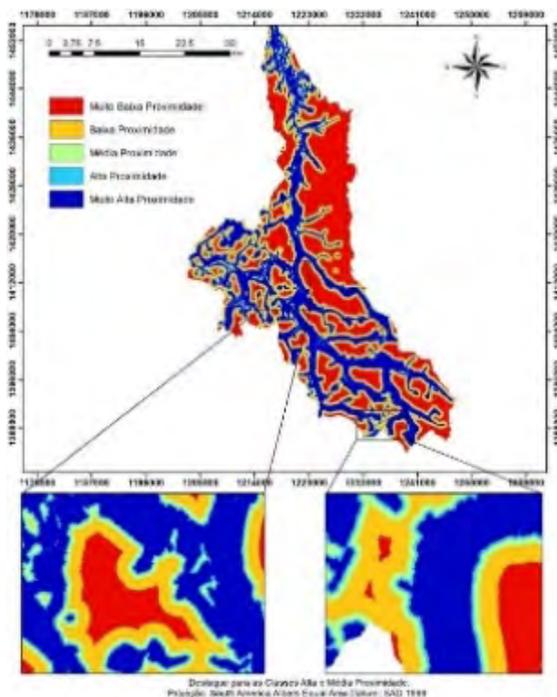
O fator APP foi elaborado por meio do operador de distância disponível no módulo *buffer* do SIG, utilizando-se a hidrografia e modelo digital de elevação, consultando as faixas estipuladas na legislação vigente (Minas Gerais, 2013). Para a drenagem principal, as faixas de largura relacionadas às APPs margem de rio foram definidas por amostragem aleatórias de trechos do Rio Claro no programa Google Earth®.

Quadro 3.1 - Classes de proximidade à vegetação, à Reserva Legal e à APP

INTERVALOS	CLASSES
<50	Muito Alta
50-100	Alta
100-200	Média
200-500	Baixa
>500	Muito Baixa

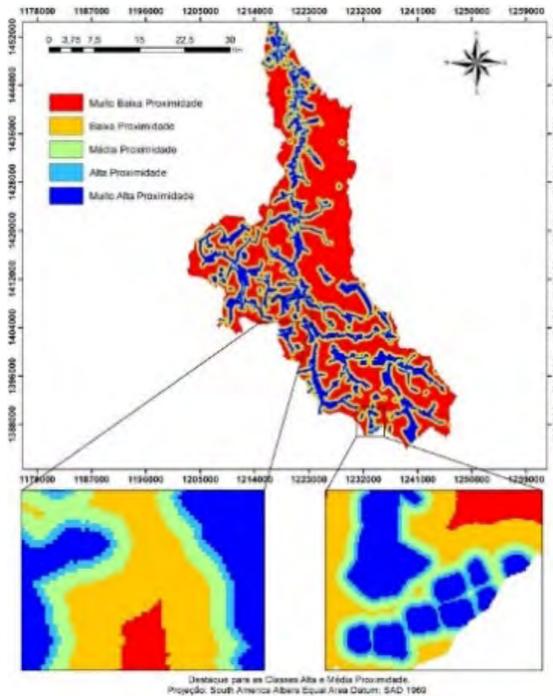
Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 3.1 - Fator Proximidade à Vegetação Nativa – Distância à Vegetação Nativa na Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 3.2 - Fator Proximidade às Reservas Legais – Distância às Áreas de Reserva Legal da Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Para os afluentes, optou-se por padronizar as APPs em todo o trecho dos cursos d'água criando-se uma baixa de 30 m. Para as áreas de nascentes, criou-se uma faixa de 50 m de raio. Devido ao relevo da área de estudo, não foram encontrados outros tipos de APP. O fator Proximidade à APP (Figura 3.3) foi elaborado a partir do fatorAPP usando as classes do Quadro 3.1. O fator Proximidade à Rede de Drenagem foi elaborado a partir da hidrografia digitalizada pelo operador de distância euclidiana disponível no SIG. A proximidade foi definida utilizando as classes descritas no Quadro 3.2, elaborado com base nas faixas definidas como APP no Código Florestal (Brasil, 2012).

Quadro 3.2 - Classes de proximidade à rede de drenagem

INTERVALOS	CLASSES	PESO
<30	Extremamente Alta	6
30-50	Muito Alta	5
50-100	Alta	4
100-200	Média	3
200-500	Baixa	2
>500	Muito Baixa	1

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A ordem de canais foi adotada como critério por Francisco (2006); Francisco et al. (2007) e Freitas et al. (2013) em seus estudos que visavam à indicação de prioridade de recuperação de APP. A partir da modificação destas metodologias, elaborou-se o mapa do fator Proximidade à Rede de Drenagem em Função da Ordem de Canais de Drenagem (Figura 3.4). Utilizando o plano de informação hidrografia e observando-se a hierarquia fluvial de Strahler, adotou-se os pesos do Quadro 3.3. Assim como nos estudos Francisco (2006); Francisco et al. (2007) e Freitas et al. (2013), maior prioridade foi atribuída aos canais mais a montante (primeira ordem, segunda ordem e, assim, sucessivamente).

Quadro 3.3 - Pesos adotados em relação à ordem dos canais

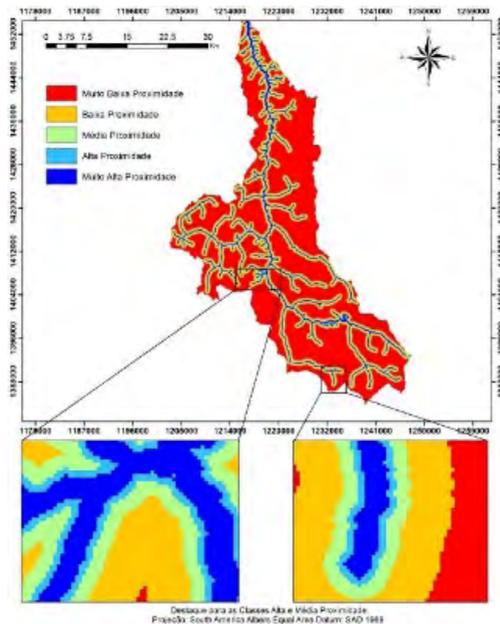
ORDEM DOS CANAIS	PESOS
1° e 2°	5
3° e 4°	4
5°	3
6°	2
> 6°	1

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A proximidade foi definida utilizando as classes descritas no Quadro 3.2 e elaborada pelo operador de distância euclidiana disponível do SIG. Calculou-se a razão entre os pesos das classes do Quadro 3.3 e procedeu-se por álgebra de mapas a multiplicação de cada mapa pelo referido peso (razão). Após isso, realizou-se o mosaico com todos os mapas de proximidade por classe, gerando o Mapa de Proximidade a Rede de Drenagem em Função de Ordem de Canais de Drenagem (Figura 3.4).

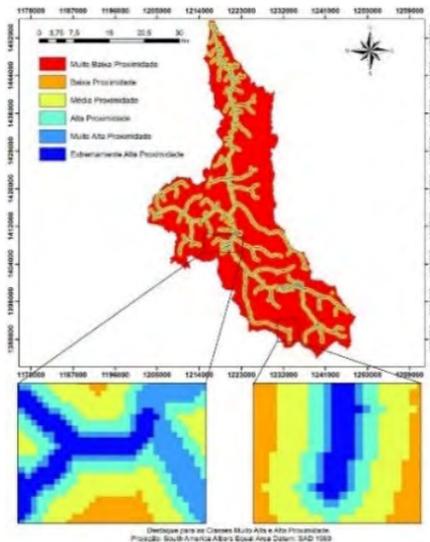
O fator Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos (Figura 3.5) foi obtido pelo recorte da Bacia do Rio Claro no Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos (Mello et al., 2008) criado para o Zoneamento Econômico Ecológico (ZEE) de Minas Gerais (Scolforo et al., 2008) e sua reclassificação. De acordo com Mello et al. (2008), a Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos é admitida como o reverso da disponibilidade natural de água superficial e subterrânea, instituindo diferentes graus de vulnerabilidade natural. Ainda segundo Mello et al. (2008), para a elaboração da Vulnerabilidade Natural no ZEE, adotou-se a Disponibilidade Natural de Água Superficial representada pela variável Rendimento Específico $Q_{7,10}$; a Disponibilidade Natural de Água Subterrânea representado pela variável Lâmina de Explotação; e a Potencialidade de Contaminação de Aquíferos, elencando de forma qualitativa as principais características hidrogeológicas direta ou indiretamente associadas à contaminação, representadas pelas variáveis: profundidade modal, fraturas, condutividade elétrica, metais pesados e características das rochas.

Figura 3.3 - Fator Proximidade à Área de Preservação Permanente. Distância às Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Rio Claro



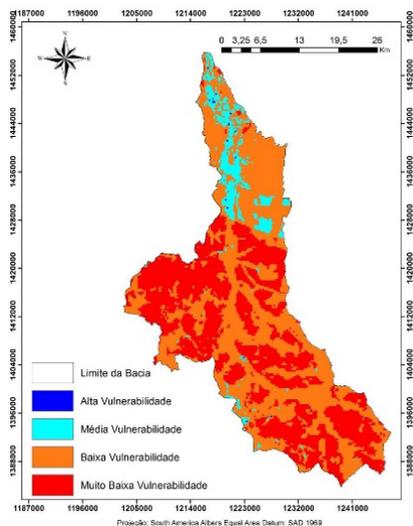
Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 3.4 - Fator Proximidade à Rede de Drenagem em função da ordem de canais. Distância à Rede de Drenagem em função da ordem de canais na Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 3.5 - Fator Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

O Potencial Natural de Erosão (PNE) quando espacializado permite uma clara interpretação do risco de erosão que pode existir em função das características do meio físico (Silva et al., 2007). O PNE foi calculado considerando os quatro primeiros fatores da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE), equação utilizada para estimativa da perda média anual de solo provocada pela erosão hídrica para um determinado uso. Esses fatores foram gerados individualmente e trabalhados em formato matricial, os quais foram combinados célula a célula, a partir de algoritmos de mapas. Sendo assim, os fatores C e P da RUSLE foram considerados iguais a 1, uma vez que o PNE representa a interação dos fatores naturais do meio físico intervenientes no processo erosivo, correspondendo às perdas de solo simuladas pela RUSLE, desconsiderando qualquer tipo de cobertura vegetal e de interferência antrópica (Lanza, 2011). O PNE é definido utilizando os fatores erosividade da chuva e da enxurrada; erodibilidade do solo; comprimento da encosta e declividade do terreno, Equação 3.1.

$$PNE = R * K * LS \quad (3.1)$$

Sendo que: R = erosividade da chuva ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); K = erodibilidade do solo ($\text{t.h.ha.MJ}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$); LS = fator topográfico (adimensional).

Sendo assim, o fator PNE foi gerado pela multiplicação dos mapas de fatores: Erodibilidade (Fator K), Erosividade (Fator R) e Fator LS.

Para o mapa de erosividade da chuva média anual de forma espacialmente distribuída, foi utilizado neste trabalho o modelo estatístico multivariado proposto por Mello et al. (2013), no qual estima a erosividade em função da latitude, longitude e a altitude de cada uma das células da bacia hidrográfica, extraídas a partir modelo digital de elevação (MDE).

O fator erodibilidade foi gerado por meio do recorte da área de estudo no Mapa de Solos de Minas Gerais na escala de 1:500.00 (Feam et al., 2010); e sua reclassificação, inserindo os valores do fator K encontrados em diferentes literaturas que estudaram os mesmos tipos de solos da região de estudo.

Para estimar o fator LS, foi empregada a metodologia proposta por Moore; Burch, 1986; Engel, 2003 (Equação 3.2) na qual para se obter o fator topográfico sobre um terreno tridimensional, utiliza um modelo digital de elevação combinado a procedimentos de cálculo via Raster Calculator Tool no Arc Gis® 10.1™. O MDE utilizado para cobrir a bacia do Rio Claro provém da interpolação das cartas do Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE) e apresenta resolução de 10 metros.

$$LS = [(FA \times (CS/22,13))]^{(0,4)} \cdot [(\text{sen}(S)/0,0896)]^{1,3} \quad (3.2)$$

Sendo que: FA é o fluxo acumulado; CS é o tamanho da célula do MDE (m), e S é a declividade em radianos.

Quanto maior o valor de Potencial Natural de Erosão, maior a prioridade de conservação. Considerou-se que áreas suscetíveis à erosão são mais adequadas para recomposição, devido à proteção oferecida pela vegetação ao solo, atenuando os possíveis efeitos causados pela atividade produtiva, assim como relatado por Ferraz e Vetorazzi (2003). Sendo assim, o Mapa do Potencial Natural de Erosão foi classificado utilizando-se das classes adaptadas de Valério Filho (1994) utilizadas por Durães e Mello (2016), Quadro 3.4.

O fator Aptidão Agrícola da Bacia do Rio Claro foi elaborado por meio do recorte, reclassificação e atribuição de pesos; do Mapa de Aptidão Agrícola de Minas Gerais, elaborado em acordo com a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995) *apud* Silva (2014). A reclassificação do mapa seguiu as classes e pesos do Quadro 3.5, onde adotou-se como critério quanto maior a aptidão agrícola, menor a aptidão para conservação.

Quadro 3.4 - Classes de Potencial Natural de Erosão

CLASSES	INTERVALOS
Fraco	<400
Moderado	400-800
Moderado a Forte	800-1600
Forte	1600-2400
Muito Forte	>2400

Fonte: (Durães; Mello, 2016).

Para a elaboração do Mapa de Áreas Prioritárias de Conservação de Água, os fatores foram agrupados em dois blocos: fatores físico-hídricos e fatores de vegetação. O Mapa fatores físico-hídricos é composto pelos fatores AptA, PNE, VNRH, PRD e PRDOC. O Mapa fatores Vegetação é composto pelos fatores: VN, PVN, PRL, APP, PAPP.

Quadro 3.5 - Caracterização dos possíveis grupos de aptidão agrícola das terras e seus pesos

Grupo de Aptidão Agrícola	Caracterização	Classes de Aptidão para Conservação	Pesos
1	Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo.	Muito Baixa	1
2	Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo.	Baixa	2
3	Terras com aptidão restrita para lavouras de ciclo curto e/ou longo.	Moderada	3
4	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada.	Moderada	3
5	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura.	Alta	4
6	Terras sem aptidão agrícola.	Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Silva (2014).

Na elaboração do mapa de cada bloco de fator (Mapas fatores Físico-Hídricos e Mapa fatores Vegetação), os pesos de cada mapa de fator componente do bloco expressam a ordem de importância dos fatores no processo de decisão e foram atribuídos pelo método de Análise Hierárquica Ponderada (AHP) de Saaty (1980). Segundo Faria e Augusto Filho (2013), este método é indicado para problemas que envolvem a priorização de soluções potenciais a partir da avaliação de um conjunto de critérios, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos). O resultado é um modelo que permite analisar várias alternativas com base na capacidade humana de usar a informação e a experiência para estimar magnitudes relativas por meio de comparações par a par realizadas de forma consistente e racional (Toma; Asharif, 2003; Trentim, 2012).

O método emprega uma comparação pareada entre os fatores para determinar a importância relativa de cada um deles, utilizando valores derivados de uma escala contínua de julgamentos (Quadro 3.6). A partir desta escala constrói-se uma matriz de comparação recíproca (Quadro 3.7), estruturada de maneira que o critério 1 tenha preferência sobre o critério 2 e a diagonal principal da matriz seja representada pela unidade (Faria; Augusto Filho, 2013).

Quadro 3.6 - Escala de julgamento de importância no Método AHP

1/2;1/4;1/6;1/8	Intermediários
1/9	Extremamente
1/7	Muito fortemente
1/5	Fortemente
1/3	Moderadamente
1	Igual importância
3	Moderadamente
5	Fortemente
7	Muito fortemente
9	Extremamente
2, 4, 6 e 8	Intermediários

Fonte: Modificada de Saaty (1990).

Quadro 3.7 - Matriz Comparativa

	CRITÉRIO 1	CRITÉRIO 2
CRITÉRIO 1	1	Avaliação Numérica
CRITÉRIO 2	¹ /Avaliação Numérica	1

Fonte: Faria e Augusto Filho (2013).

A função dos pesos é expressar a ordem de importância dos fatores frente ao processo de tomada de decisão (Tabela 3.1). Eles podem ser determinados a partir de consulta em literatura, por experiências já vivenciadas pelo analista, ou também pela chamada Técnica Participatória, que se baseia na reunião de especialistas envolvidos na área do projeto para determinar tanto os fatores de importância quanto seus respectivos pesos (Sartori; Silva; Zimback, 2012). Neste estudo, o grau de importância de cada fator foi definido utilizando-se das três técnicas, consultando os seguintes trabalhos já existentes na literatura (Francisco et al., 2007; Rezende; Pires; Veniziani Júnior, 2011; Sartori, 2010; Sartori; Silva; Zimback, 2012; Valente; Vettorazzi, 2006).

O cálculo da matriz de comparação resulta no autovetor de prioridades, calculado segundo metodologia de Saaty (1990), produzindo um conjunto de pesos com melhor ajuste (Souza, 2015). De posse das importâncias relativas dos critérios, é verificada a integridade e coerência dos julgamentos por meio da análise de consistência. De acordo com

Sartori, Silva e Zimback (2012), devido ao fato de a matriz de comparação pareada apresentar múltiplos caminhos (ou maneiras) pelos quais a importância relativa dos critérios pode ser avaliada, é possível também determinar o grau de consistência atingido no desenvolvimento dos pesos. Saaty (1977) indicou o procedimento pelo qual um índice de consistência conhecido como Taxa de Consistência (TC) pode ser obtido. Segundo Saaty (1980), a TC indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente. De acordo com o autor, as matrizes com TC maiores que 0,10 devem ser reavaliadas. A TC dos pesos encontrada para este estudo foi de 0,06 para Mapa Fatores Físico-Hídricos e de 0,09 para o Mapa Fatores Vegetação indicando que o julgamento apresentou consistência aceitável, ou seja, menor que 0,1 (10%). Essa ponderação tem influência direta sobre a espacialização das áreas prioritárias a serem geradas pela análise.

O Mapa de Áreas Prioritárias para Conservação de Água foi obtido por álgebra de mapas dos blocos de fatores; atribuindo peso de 45% ao Bloco Fatores Físico-Hídricos e 55% ao Bloco Fatores Vegetação. Essa distribuição com maior peso aos fatores de vegetação foi adotada, pois esses parâmetros têm maior susceptibilidade à ação antrópica do que os parâmetros físicos hídricos que são mais estáveis, pois estão ligados a características físicas como questões mineralógicas e tipo de solo, de menor interferência humana. O mapa final foi reclassificado em cinco classes de prioridade, observadas no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 - Classes de prioridade do Mapa de Áreas Prioritárias para a Conservação de Água da Bacia do Rio Claro-M.G

CLASSES	LIMITES
Baixa	1,5
Baixa a Moderada	2,5
Moderada	3,5
Alta	4,5
Muito Alta	>4,5

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

O Mapa de Áreas de Conservação de Água (ACAs) foi elaborado pelo recorte das Classes Moderada, Alta e Muito Alta prioridade do Mapa de Áreas Prioritárias de Conservação de Água. Para a extração das classes de uso do solo dentro da ACA utilizou-se o software Arc Gis 10.1™.

Tabela 3.1 - Pesos de compensação obtidos por meio da matriz de comparação pareada

FATORES FÍSICOS HÍDRICOS						
FATORES	VNRH	PNE	AptA	PRD	PRDOC	PESOS
VNRH	1	2	3	4	6	0,3970
PNE	1/2	1	2	5	7	0,2911
AptA	1/3	1/2	1	4	6	0,1925
PRD	1/4	1/5	1/4	1	4	0,0822
PRDOC	1/6	1/7	1/6	1/4	1	0,0372
FATORES VEGETAÇÃO						
FATORES	APP	PAPP	VN	PVN	PRL	PESOS
APP	1	5	3	5	5	0,471
PAPP	1/5	1	1/5	3	3	0,115
VN	1/3	5	1	5	5	0,300
PVN	1/5	1/3	1/5	1	1	0,057
PRL	1/5	1/3	1/5	1	1	0,057

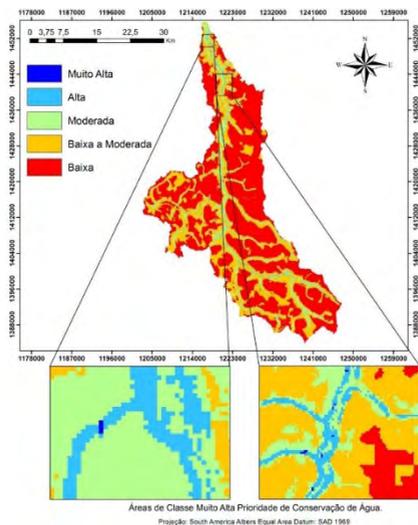
Fonte: Sousa e Coelho (2023).

3.3 Resultados e discussão

Entende-se que as áreas prioritárias delimitadas pela metodologia deste estudo influenciam diretamente a conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos de uma bacia, pelos fatores que foram escolhidos e trabalhados na análise multicritério. Sendo assim, serão denominadas de Áreas Prioritárias para a Conservação de Água (APCA) (Figura 3.6).

A análise do mapa com os cinco níveis categóricos de prioridade já possibilita uma primeira inferência sobre sua adequação. Assim como observado no estudo de Sartori *et al.* (2012), uma característica a ser ressaltada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de água é a continuidade de suas classes de prioridade. A categoria de maior prioridade acaba sendo conectada pela categoria seguinte (ordem de menor prioridade), e assim sucessivamente. Isso facilita a visualização de um zoneamento e a indicação das áreas a serem restauradas para a delimitação de zonas de uso especial.

Figura 3.6 - Distribuição das Áreas Prioritárias de Conservação de Água da Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Os valores de área são decrescentes até o nível muito alto, como podeser observado na Tabela 3.2. Essa característica pode demonstrar uma maior facilidade de aplicação da restauração florestal, tendo em vista a menor quantidade de área a ser restaurada garantindo eficiência de produção de água segundo a metodologia.

Tabela 3.2 – Valores de área para os cinco níveis de prioridade para conservação de água

NÍVEL DE PRIORIDADE	ÁREA	
	(ha)	(%)
Muito Alta	1,06	0,001
Alta	2686,56	2,384
Moderada	7100,31	6,300
Baixa a Moderada	36027,00	31,967
Baixa	66885,06	59,348

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Observa-se no mapa da Figura 3.6, especificamente para as áreas classificadas como de prioridade moderada e alta, a influência da rede de drenagem na espacialização dessas áreas. Isto se deve ao fator APP e Proximidade à APP serem os fatores com os maiores pesos (Tabela 3.1), no bloco de maior porcentagem, o que influencia diretamente o desenho da classe alta prioridade. Esta característica, aliada ao grande peso do fator vegetação nativa, possibilitou a conexão florestal e colaborou para que houvesse a definição de grande parte das áreas com maior prioridade em regiões da bacia que concentram as maiores áreas de floresta nativa e áreas ripárias ao longo da hidrografia.

Os resultados dos estudos de Johnson et al. (1997); Allan (2004); Riemann; Riva-Murray e Murdoch (2004); Borges et al. (2005); Houser e Mulholland (2006) e Chaves e Santos (2009) embasam os resultados obtidos na configuração espacial do mapa de APCA.

Chaves e Santos (2009) afirmam que não apenas a proporção, mas também a posição das áreas florestadas na bacia influenciam a qualidade da água. Riemann; Riva-Murray e Murdoch (2004) concluíram que a distribuição espacial das florestas remanescentes, além de sua área de recobrimento, é também significativa para a qualidade da água. Nesse sentido, Johnson et al. (1997) concluíram que a concentração de fósforo total e de sólidos suspensos totais na água foi mais negativamente correlacionada com o percentual de floresta remanescente na zona ripária que aquele em outras áreas na bacia. Entretanto, apesar da importância das zonas ripárias na proteção dos cursos d'água contra impactos de aportes de sedimentos, nutrientes e poluentes ser reconhecida na literatura, é difícil separar a proteção oferecida por essas daquela proporcionada por florestas localizadas em áreas de interflúvio (Allan, 2004; Houser; Mulholland, 2006). Borges et al. (2005) concluíram que a maior largura das matas ciliares amplia a eficiência da retenção e reduz o picado escoamento superficial para os rios, além de atender ainda parte do aumento da área florestada para equilibrar a retenção de água destinada à infiltração.

Em concordância com o fato de as áreas prioritárias de conservação se apresentarem espacialmente contínuas as APPs, principal característica observada do Mapa de APCA (Figura 3.6). Rezende, Pires e Veniziani Júnior (2011) afirmam que a adoção de estratégias, como a constituição de áreas de Reserva Legal em áreas contíguas à APP, pode aumentar a eficácia da utilização das áreas florestadas nas margens dos rios como corredores de conexão entre fragmentos, pois, apesar da ausên-

cia de dados científicos suficientes para generalizações sobre as funções dos corredores, várias pesquisas mostram que o aumento da riqueza de espécies está diretamente relacionado a uma maior largura dos corredores (Metzger, 2003).

Os resultados dos estudos de Rhodes, Newton e Pufall (2001), Burkat, James e Tomer (2004) e Lima (2005) fortificam a utilização do critério proximidade da rede de drenagem pela ordem de canais, o que favoreceu a configuração espacial do mapa de APCA (Figura 3.6). Lima (2005) aponta a importância da proteção adequada das zonas ripárias e das cabeceiras de drenagem, para garantir a integridade do sistema ripário, contribuindo, dessa forma, para aumentar a resiliência da bacia hidrográfica, diminuindo a sua vulnerabilidade a perturbações. Burkat, James e Tomer (2004) afirmam que as áreas ripárias ao longo dos canais de primeira ordem têm um potencial maior de interceptação da água, subterrânea ou superficial, que áreas similares ao longo de canais de ordens superiores, contribuindo, dessa forma, para recarga desses cursos pequenos, que é dominado pelo fluxo de base. Rhodes, Newton e Pufall (2001) estudando o efeito da retirada de água de boa qualidade de zonas de cabeceira de pequenas bacias, concluíram que o uso consuntivo de água dos rios tende a aumentar as concentrações de nitratos e sulfatos a jusante, piorando a qualidade da água.

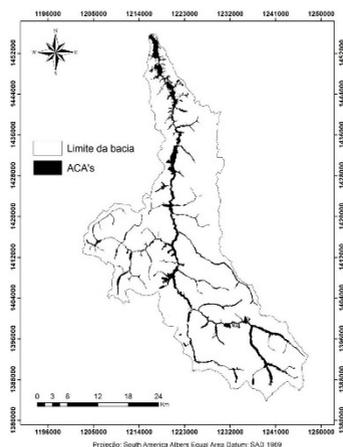
Assim como no estudo de Rezende, Pires e Veniziani Júnior (2011), as áreas de muito alta prioridade de conservação coincidem com as áreas de maior susceptibilidade à erosão no PNE. Corroborando os resultados de Rezende, Pires e Veniziani Júnior (2011), as áreas classificadas como de baixa e baixa a moderada prioridade de conservação são as de maior aptidão agrícola e de menor Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos, devido ao grande peso desses fatores (Tabela 3.1) no bloco de fatores Físico-Hídricos. As áreas classificadas como muito alta prioridade de conservação equivalem a áreas de média Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos. A grande extensão de áreas com muito baixa e baixa Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos (Figura 3.5) se deve ao fator de rendimento específico $Re_{7,10}$. Na elaboração da Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos, a disponibilidade natural de água superficial participou com peso 50%, e os demais indicadores, com peso 25% (Mello et al., 2008). A bacia possui médio rendimento específico, porém encontra-se em uma área de Conflito de Uso da Água (Rocha, 2012), informação não levada em consideração quando da elaboração do estudo de vulnerabilidade natural dos recursos hídricos no ZEE (Mello et al., 2008). Uma área de conflito de uso é um trecho na bacia onde os usos instalados já ultrapassam a vazão máxima

outorgável e que já possuem processos coletivos (Rocha, 2012), demonstrando que a disponibilidade deste recurso está afetada.

O mapa de APCA permitiu uma visão geral de como a paisagem da bacia se comporta em termos de aptidão à implantação de uma estratégia de restauração da vegetação para a conservação de água. Sendo assim, afirma-se que as APCA, utilizando-se desta metodologia, podem ser utilizadas no direcionamento de recursos específicos e direcionamento de esforços para o desenvolvimento de políticas públicas ambientais na gestão de recursos hídricos; pois se caracterizam como indicadoras de produção de água.

A metodologia gerou a possibilidade de delimitação das áreas mais aptas para a produção/conservação de água dentro das APCAs, tratando-se de indicadores de produção e conservação de água. Essas áreas receberam a nomenclatura de Áreas de Conservação de Água (ACAs), pois traduzem o potencial de conservação (produção) de água da bacia influenciando diretamente a conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos de uma bacia. Além disso, podem auxiliar na alocação e delimitação de Unidades de Conservação. As ACAs da Bacia do Rio Claro são apresentadas na Figura 3.7.

Figura 3.7 - Distribuição das Áreas de Conservação de Água (ACA's) da Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Os resultados do estudo de Rosa et al. (2014) corroboram os resultados encontrados neste estudo. Rosa et al. (2014) geraram um mapa de

áreas prioritárias para conservação e preservação da água onde empregaram a AMC. Mesmo utilizando apenas dois planos de informação (declividade e uso e cobertura do solo), os autores concluíram que as ferramentas de AMC empregadas demonstraram ser aplicáveis no suporte à tomada de decisão relacionada à definição de áreas prioritárias e no desenvolvimento de políticas públicas em pagamento por serviços ambientais (PSA) ligados à água. Rosa et al. (2014) ainda afirmam que o mapeamento em uma escala detalhada representa uma situação ideal e indispensável para o planejamento, desenvolvimento e monitoramento de ações no âmbito de um projeto de PSA ligado à água, o que reforça ainda mais os resultados deste estudo, tendo em vista a maior gama de critérios utilizados na AMC para a indicação das áreas prioritárias à conservação.

Ainda, pautando-se nos resultados de Rosa et al. (2014), em relação ao desenvolvimento de políticas públicas em PSA ligado à água, as ACAs podem ser um indicador de critério para a participação dos produtores em programas de pagamento por serviços ambientais de água, tendo em vista o potencial de conservação deste recurso, assim como sugerido por Jales, Silva e Vasconcelos (2013). Jales, Silva e Vasconcelos (2013) selecionaram, por meio do método de AMC em um sistema de informação geográfica (SIG), sub-bacias prioritárias do município de Brumadinho (MG) para implantação do Projeto Oásis. Este projeto tem o foco principal desenvolver modelo em premiação de proprietários rurais pelos serviços ambientais providos por suas áreas, por meio do mecanismo de PSA. Jales, Silva e Vasconcelos (2013) destacaram que essa estratégia de ação vem sendo apontada como de extrema importância para o planejamento ambiental, trazendo elementos significativos para o processo de tomada de decisão.

Reforçando a aptidão das ACAs como direcionador de políticas públicas, Mattos (2009) afirma que, por meio de um indicador de produção de água como este, os gestores dos órgãos ambientais e de recursos hídricos, poderão tomar decisões sobre o incentivo financeiro aos produtores rurais localizados nesta região. Segundo o autor, o indicador de produção de água poderá ter esta função tendo em vista que este dá subsídios para definir as áreas prioritárias de investimento, tanto para incentivar aqueles que ainda não aderiram às práticas conservacionistas em suas propriedades quanto reconhecer aqueles que já as possuem em suas propriedades. Mattos (2009) também afirma que este indicador representa a unidade de gestão como um todo e não a propriedade de forma individualizada, portanto se não existir envolvimento de todas as propriedades rurais, a unidade de gestão não terá uma produção de água satisfatória.

Sendo assim, as áreas de altas prioridades indicadas no mapa de Áreas Prioritárias para Conservação de Água, denominadas como ACAs, devem ser destinadas como prioritárias à restauração florestal na bacia hidrográfica do Rio Claro - MG, podendo ter um peso maior para se transformarem em futuras reservas legais e/ou Cotas de Reserva Legal (Brasil, 2012) àqueles proprietários que quiserem transformar suas áreas e receberem um incentivo de um PSA além do seu comércio (servidão).

Pela análise da Tabela 3.3, observa-se que 9.317,50 ha (95,6%) da bacia já está cumprindo o papel de conservação de água, pois está em sua maioria ocupada pela vegetação nativa Campo Hidromórfico, Floresta Semidecidual e água, sendo necessária a restauração florestal de apenas 429,43 ha, o que corresponde a apenas 4,4% da área. Esse resultado evidencia a efetividade da metodologia como um indicador de produção de água, comprovando o peso dos critérios de vegetação na conservação dos recursos hídricos.

A Tabela 3.3 traz o uso e ocupação do solo dentro da ACA.

Tabela 3.3 - Uso do solo na ACA da Bacia do Rio Claro, Minas Gerais, para o ano de 2015

CLASSE	ÁREA	
	ha	%
Campo Hidromórfico	5659,55	58,06
Floresta Semidecidual	3327,43	34,14
Agricultura	337,25	3,46
Água	330,52	3,39
Pastagem	74,69	0,77
Floresta Plantada	14,05	0,14
Solo exposto	2,10	0,02
Antrópico	1,34	0,01

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

3.4 Conclusões

A metodologia elaborada neste estudo mostrou-se adequada ao mapeamento de áreas prioritárias à conservação de água.

Tanto os dados básicos (fatores) quanto os resultados finais (Mapa de APCAs e Mapa de ACAs) constituem importante subsídio para o zoneamento e gestão ambiental da área estudada.

A análise das APCAs identificou um padrão espacial mais apropriado para futuras utilizações do solo. As APCAs apresentaram padrão espacial contínuo as APPs. O mapa de APCAs apresentou continuidade de suas classes de prioridade, facilitando a visualização de um zoneamento e a indicação das áreas a serem restauradas para a delimitação de zonas de uso especial.

A metodologia possibilitou a delimitação das áreas mais aptas para a produção/conservação de água dentro das APCAs, tratando-se de indicadores de produção e conservação de água. Essas áreas receberam a nomenclatura de Áreas de Conservação de Água (ACAs) por traduzirem o potencial de produção de água da bacia, influenciando diretamente a conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos de uma bacia.

As áreas indicadas como ACAs devem ser destinadas como prioritárias à restauração florestal na bacia hidrográfica do Rio Claro - MG, visando à conservação dos recursos hídricos, recebendo prioridade em planejamento, políticas públicas e/ou execução de uma intervenção pública.

O fato de apenas 4,4% da área indicada como produtora de água (ACA) necessitar de revitalização florestal evidencia a eficiência da metodologia, tendo em vista que o indicador de produção de água foi elaborado com maior peso em critérios relacionados à vegetação, baseando-se no comprovado papel da vegetação na conservação dos recursos hídricos.

Capítulo 4

Metodologia para criação de Unidades de Conservação de Água: Estudo de caso bacia do Rio Claro - MG.

4.1 Introdução

De acordo com Mello, Toppa e Cardoso-Leite (2016), uma das maiores causas de degradação dos ecossistemas naturais e da perda de biodiversidade é o crescimento agrícola e urbano.

O Cerrado, apesar de ser um *hotspot* global de biodiversidade IBGE (2012), é também um dos ecossistemas mundiais mais ameaçados (Mittermeyer; Myers; Mittermeyer, 1999). Sua rápida destruição deve-se a expansão agrícola (IBGE, 2012). Segundo Dalla-Nora et al. (2014), no Cerrado predominam baixos níveis de proteção ambiental, ocasionando assim a maior disponibilidade de terra legalmente apta para a agricultura em relação a qualquer outro bioma brasileiro. A situação é agravada pelo fato de o Cerrado também possuir diversas características que demonstram forte aptidão agrícola, como áreas mecanizáveis, solos férteis e regime climático adequado. Essa conjuntura aumenta a exposição do bioma ao seu principal agente de degradação, a expansão agrícola.

As Unidades de Conservação (UC) são a estratégia mais eficiente para promover a conservação dos ecossistemas, a biodiversidade, os recursos naturais e os valores culturais da humanidade (IBASE, 2006; Watson et al., 2014, Schreiner; Tagliani; Silva, 2015).

Segundo Bento e Rodrigues (2013, p. 38), Unidades de Conservação são um “[...] espaço territorial e seus recursos ambientais, [...], com características relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, [...], sob regime especial de administração, [...]” (Lei 9.985/2000, Art. 2º), tendo objetivos variados como manutenção, proteção, preservação, restauração, recuperação da biodiversidade, geodiversidade e dos recursos hídricos, além de incentivo à pesquisa, à promoção da educação e à interpretação ambientais.

Na América Latina, grande parte das unidades de conservação foram criadas com o objetivo de proteger os mananciais hídricos que abastecem as populações (Echavarría, 2005), o que as também torna de grande importância para as espécies aquáticas.

Rocha et al. (2005) avaliaram a qualidade das águas em alguns corpos d’água inseridos em Unidades de Conservação localizadas na bacia do Rio das Velhas e sua importância para a preservação da diversidade de macroinvertebrados, os quais têm sido amplamente utilizados como bioindicadores de qualidade de água, contribuindo na avaliação de impactos ambientais e estudos de definição de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade e manejo de bacias hidrográficas (Cao; Williams; Larsen, 2002; Iliopoulou et al., 2003). Rocha et al. (2005) afirmam que os trechos dos corpos d’água estudados, protegidos pelas Unidades de Conservação, apresentaram uma boa qualidade de água e demonstraram ser importantes mantenedores das comunidades de macroinvertebrados bentônicos na bacia hidrográfica do rio das Velhas. Sobczak et al. (2013) realizaram um estudo em uma Unidade de Conservação na região do Alto Uruguai, sul do Brasil, concluindo que a UC foi efetiva para a conservação da qualidade da água e a biodiversidade aquática de macroinvertebrados bentônicos.

A determinação de áreas prioritárias para conservação é o primeiro passo para a elaboração de estratégias regionais ou nacionais para a conservação da diversidade biológica e abiótica e mitigação de impactos, pois permite ordenar os esforços e recursos disponíveis para conservação e subsidiar a elaboração de políticas públicas de ordenamento territorial (Valente; Vettorazzi, 2011; Sartori; Silva; Zimback, 2012; Aronson; Sasha, 2013; Mello; Toppa; Cardoso-Leite, 2016).

Nesse sentido, a geoconservação implica na identificação de áreas prioritárias para conservação da geodiversidade, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas e metodologias que promovam a identifi-

cação dessas áreas facilitando a gestão e planejamento (Santos; Ruchkys; Gomes, 2014; Lopes; Ruchkys, 2015).

Para Lima et al. (2011), o planejamento conservacionista do espaço territorial tem seguido critérios relativamente subjetivos, baseados principalmente em opinião de consultores *ad hoc*, reunidos em *workshops* específicos e auxiliados pela escassa literatura disponível. Lima et al. (2011) ainda destacam a necessidade do estabelecimento de critérios técnicos mais objetivos que possam se somar aos conhecimentos subjetivos do grupo de pesquisadores consultores. Para Maran (2008), a escolha de áreas prioritárias para geoconservação deve ser baseada em critérios científicos, onde os critérios ambientais têm papel fundamental no processo. As fragilidades naturais do ambiente, a hidrologia, as variantes climáticas e os métodos de integração e análise destes fatores são exemplos de critérios que precisam ser considerados nos processos de planejamento e gestão de UCs. Além disso, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) cita que a criação de uma UC deve ser precedida de estudos técnicos e de consulta pública que permitam identificar a localização, a dimensão e os limites mais adequados para a unidade, conforme se dispuser em regulamento (Miara; Fiori, 2012).

Nesse contexto, a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) se mostra adequada, manipulando um grande volume de dados e análises espaciais complexas (Santos; Ruchkys; Gomes, 2014), diferenciando as áreas que necessitam ser incluídas em Unidades de Conservação das áreas que deveriam ser poupadas (Sample, 1994; Lima et al., 2011).

Santos, Ruchkys e Gomes (2014) em seu estudo na região do Alto/Médio São Francisco indicaram áreas prioritárias para geoconservação com base em análise multicritério (AMC) realizada em ambiente SIG. A análise multicritério vem sendo usada nas mais diversas áreas do conhecimento (Medeiros; Pereira, 2011; Carvalho et al., 2011; Antunes, 2012; Cabral, 2012; Rezaei; Ortt, 2013; Roque et al., 2013; Santos; Ruchkys; Gomes, 2014; Oliveira et al., 2014); devendo ser utilizada em situações nas quais a análise de apenas uma variável não representa a realidade do fenômeno estudado (Santos, 2010). Consoante Jales, Silva e Vasconcelos (2013), o emprego da ferramenta SIG nos processos de indicação de áreas prioritárias tem se mostrado eficiente, colaborando para o desenvolvimento de modelos como o proposto neste trabalho. Ainda Jales, Silva e Vasconcelos (2013) apontam que a incorporação da AMC para o aprimoramento dos resultados obtidos no SIG tem gerado numerosos benefícios para o planejamento da conservação da paisagem.

Este estudo se justifica pelas características da área, onde se localiza a Cachoeira da Fumaça, com uma excepcional queda d'água que desperta o interesse de toda população regional a visitá-la atraídos por sua beleza (Macedo; Ribeiro, 2002). Além disso, de acordo com Barros (2013), as unidades de conservação beneficiadas pelo instrumento de compensação ambiental em Minas Gerais ainda não são representativas das regiões afetadas pelos empreendimentos, havendo muitas fitofisionomias que não são protegidas por unidades de conservação. A exemplo, cita-se a região do Triângulo Mineiro, ambiente em que se localiza a área deste estudo e não possui unidades de conservação, sendo representante do Bioma Cerrado, amplamente ameaçado. Tais aspectos tornam a região particularmente vulnerável e a realização de estudos científicos imprescindível.

Mediante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi de desenvolver uma metodologia utilizando a ferramenta de análise multicritério em ambiente SIG para auxiliar na identificação de áreas prioritárias para unidades de conservação; visando à conservação e à restauração florestal; tendo em vista a conservação dos recursos hídricos, da biodiversidade e geodiversidade na bacia do Rio Claro - MG. Além disso, por meio da metodologia, objetivou-se também delinear áreas para a criação de unidades de conservação.

4.2 Material e métodos

A área objeto de estudo desta obra foi caracterizada no Capítulo 1, subtítulo 1.4. Para a elaboração do Mapa de Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação, empregou-se a abordagem multicriterial (AMC), em ambiente SIG (Arc Gis® 10.1™), empregando-se o método de Combinação Linear Ponderada (CLP). Segundo Sartori, Silva e Zimback (2012), neste método, uma vez que os mapas de critérios (fatores e restrições) tenham sido gerados, é uma simples questão de multiplicar cada mapa de fator (isto é, cada célula ou pixel, de cada mapa) pelo seu peso e, então, somar os resultados. Os fatores utilizados foram áreas prioritárias de conservação de água e proximidade às quedas d'água.

O Mapa de Áreas Prioritárias de Conservação de Água (APCAs) foi elaborado por Análise Multicritério e Análise Hierárquica Ponderada (AHP), sendo composto pelos fatores: Vegetação Nativa (VN), Proximidades à Vegetação Nativa (PVN), Proximidade à Reserva Legal (PRL), Áreas de Preservação Permanente (APP), Proximidade à APP (PAPP), Proximidade à rede de drenagem (PRD), Proximidade à rede de drenagem em função da

ordem de canais de drenagem (PRDOC), Potencial Natural de Erosão (PNE), Aptidão Agrícola (AptA), Vulnerabilidade Natural dos Recursos Hídricos (VNRH), conforme metodologia detalhada no Capítulo 3 desta obra. Para Maran (2008), os países que têm redes de áreas geoconservadas têm diferentes meios de selecionar locais, dentre eles está a vulnerabilidade, que pode ser considerada uma das metodologias a ser utilizada para auxiliar na identificação de áreas prioritárias para geoconservação.

O Mapa de Proximidade às Quedas d'água foi elaborado a partir da espacialização dos *knickpoints* de 1ª ordem, obtidos a partir do Mapa de Pontos de Ruptura de Declive, utilizando-se da ferramenta Distância Euclideana do Tool do ArcGis®10.1™. A proximidade foi definida utilizando as classes de distância descritas no Quadro 4.1, elaborado com base nas faixas definidas como APP no Código Florestal (Brasil, 2012) e na indicação das zonas de amortecimento das unidades de conservação (CONAMA, 1990; CONAMA, 2010). Após esta etapa, o mapa foi reclassificado utilizando os pesos descritos no Quadro 4.1.

Como em Oliveira et al. (2014), foi atribuído peso maior para as áreas mais próximas das quedas d'água e este valor decresce à medida que se distancia das quedas até chegar à adequabilidade mínima que ocorre no ponto mais distante das quedas d'água.

Segundo Salamuni et al. (2013), a identificação de geossítios por meio de imagens de abrangência regional é bastante complexa, devido à dificuldade de se proceder à análise visual ponto a ponto. Em razão dessas limitações, assim como Salamuni et al. (2013), elaborou-se uma rotina com a finalidade de buscar locais onde há quebras de relevo (*knickpoints*) nos segmentos de drenagem.

Quadro 4.1 - Classes de proximidade a quedas d'água

INTERVALOS	CLASSES	PESO
50	Extremamente Alta	8
100	Muito Alta	7
200	Alta	6
500	Média	5
2000	Baixa	4
3000	Muito Baixa	3
10000	Extremamente Baixa	2
>10000	Baixíssima	1

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

O Mapa de Pontos de Ruptura de Declive (Figura 4.1) foi elaborado por meio da utilização de índices RDE (relação declividade-extensão) na geração de um mapa de pontos de ruptura de declive de drenagem (*knickpoints*). Os *knickpoints* são quebras ou rupturas de declive de drenagem e/ou quebra de relevo, que criam anomalias de relevo no perfil longitudinal do canal de um rio, geradas a partir da ampliação do gradiente topográfico, formando corredeiras e cachoeiras (Etchebehere, 2006; Salamuni et al., 2013; Silva et al., 2016).

As anomalias de drenagem representam desajustes conquanto ao perfil típico e podem ser classificadas como anomalias de 1ª ou 2ª ordem. As anomalias de 1ª ordem representam desajustes mais acentuados, enquanto as anomalias de 2ª ordem apresentam os desajustes mais suaves ao longo do perfil. Tais anomalias podem comprometer os processos de erosão, além de influenciar no escoamento superficial (Silva et al., 2016), pois, conforme afirma Christofolletti (1980), a velocidade das águas e a granulometria dos sedimentos componentes da carga do leito variam de acordo com os declives.

Os *knickpoints* foram espacializados empregando álgebra de mapas no programa ArcGis® 10.1™, realizando análise morfométrica da rede de drenagem baseada nos métodos de Hack (1973) e Etchebehere (2006), a partir do modelo digital de elevação (MDE) da bacia de estudo. Para o Mapa de Proximidade a Quedas d'água utilizou-se apenas os *knickpoints* de 1ª ordem. Conforme sugerido por Etchebehere (2000), considerou-se os valores de RDE de cada trecho (razão entre RDE trecho/RDE total) como equilibrado no intervalo 0 a 2, entre os limiares 2 a 10 correspondem a anomalias de 2ª ordem e, os valores de RDE acima de 10 correspondem a anomalias de 1ª ordem.

Ao Mapa de Áreas Prioritárias de Conservação de Água foi atribuído o peso de 70% e ao Mapa de Proximidade às Quedas d'água foi atribuído o peso de 30%, tendo em vista que para o SNUC apenas a presença elementos de beleza cênica já se constitui um critério para a criação de uma UC, além do fato de o Mapa de APCAs ser composto por vários critérios e o Mapa de Proximidade de Quedas d'água ser constituído por apenas um critério. O Mapa de Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação de Água foi reclassificado em seis classes de prioridade, conforme o Quadro 4.2.

A delimitação das Unidades de Conservação de Água (UCAs) foi realizada manualmente e baseada em fatores ecológicos relevantes como a interconectividade entre fragmentos remanescentes, assim como

Lima et al. (2011), e a distribuição das classes do Mapa de Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação de Água da Bacia do Rio Claro - MG. As Unidades de Conservação de Água de Proteção Integral (UCA_PI) foram delimitadas a partir da sobreposição de áreas de Moderada à Extremamente Alta Prioridade. As Unidades de Conservação de Água de Uso Sustentável (UCA_US) foram compostas pelo restante das áreas de Moderada Prioridade que não compuseram as UCA_PI. A ZAUCA (Zona de Amortecimento das Unidades de Conservação de Água) foi delimitada a partir de uma faixa de 2.000m a partir do limite da UCA_PI, conforme indicado em CONAMA (2010, 2015).

Para a extração das classes de uso do solo dentro da UCA_PI, empregou-se o software ArcGis®10.1™. Utilizou-se o Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio Claro - MG, elaborado a partir da classificação em imagens RapidEye com resolução espacial de 5m, do ano de 2015, obtidas junto ao Ministério do Meio Ambiente, e classificação orientada a objetos por meio do software eCognition Developer 9.0™, seguindo a metodologia de Diniz et al. (2014) e Baatz e Shaÿpe (2000).

Quadro 4.2 - Classes de prioridade do Mapa de Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação de Água da Bacia do Rio Claro-M.G

CLASSES	LIMITES
Extremamente Alta	>5,5
Muito Alta	4,5-5,5
Alta	3,5-4,5
Moderada	2,5-3,5
Baixa	1,5-2,5
Muito Baixa	< 1,5

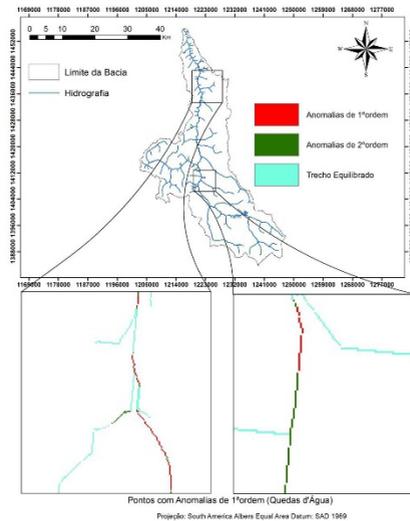
Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Para aprofundamento da caracterização do uso da área da Cachoeira da Fumaça, realizou-se tomadas de imagem com equipamento fotográfico, em visitas *in loco* entre 2010 e 2017.

4.3 Resultados e Discussão

A Figura 4.1 apresenta os pontos de ruptura de declive/relevo da Bacia do Rio Claro - MG, com destaque para os trechos onde se encontrou anomalias de 1ª ordem.

Figura 4.1 - Mapa de Pontos de Ruptura de Declive da Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Fujita et al. (2008) reforçam a importância dos resultados deste estudo quando afirmam que são escassos os estudos sobre o perfil longitudinal em rios brasileiros, utilizando a análise do índice de gradiente (RDE) para a identificação de anomalias em bacias de drenagem. Assim como este trabalho, utilizaram o RDE para a identificação de anomalias em bacias de drenagem os estudos de Etchebehere (2000), Etchebehere (2004) e Etchebehere (2006) no rio do Peixe-São Paulo; Martinez (2005) no rio Pirapó- Paraná; Guedes et al. (2006) no rio Santo Inácio-São Paulo; Guedes (2008) no rio Santo Anastácio-São Paulo; no Rio Baiano-Assis Chateaubriand-Paraná.

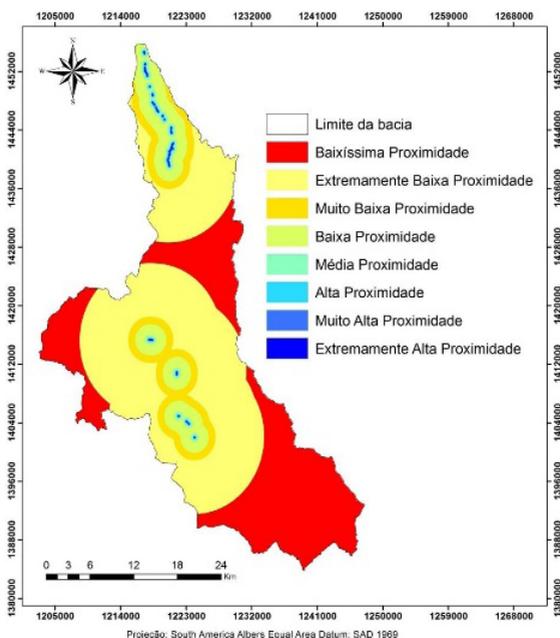
Pela análise da Figura 4.1, observa-se que o alto curso do Rio Claro, em sua maior parte, encontra-se em equilíbrio, apresentando poucos e pequenos trechos com anomalias de 2ª ordem, assim como o estudo de Silva et al. (2016) no rio Capibaribe em Pernambuco. As anomalias de 1ª ordem são encontradas no médio e baixo curso do Rio Claro.

A utilização do índice RDE propiciou a espacialização dos *knickpoints* com eficiência, tendo em vista a correlação dos *knickpoints* de 1ª ordem com uma grande cachoeira (Cachoeira da Fumaça) presente na área de estudo.

Os resultados deste estudo reforçam o trabalho de Salamuni et al. (2013), em que os autores afirmam que a determinação *knickpoints* é um dos caminhos para se identificar cachoeiras. Fujita et al. (2008) também analisaram o perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, Paraná e verificaram que nos mais altos índices de RDE foi possível identificar a ocorrência de formação rochosa que propicia condições adequadas para formação de cachoeiras, corroborando os resultados deste estudo.

A Figura 4.2 apresenta o Mapa de Proximidade aos *knickpoints* de 1ª ordem (Quedas d'água). As informações dessa figura foram utilizadas com êxito na rotina de análise de aspectos físicos e bióticos para geração da categorização de prioridades para a criação de unidades de conservação.

Figura 4.2 - Mapa de Distância/ Proximidade a Quedas d'Água

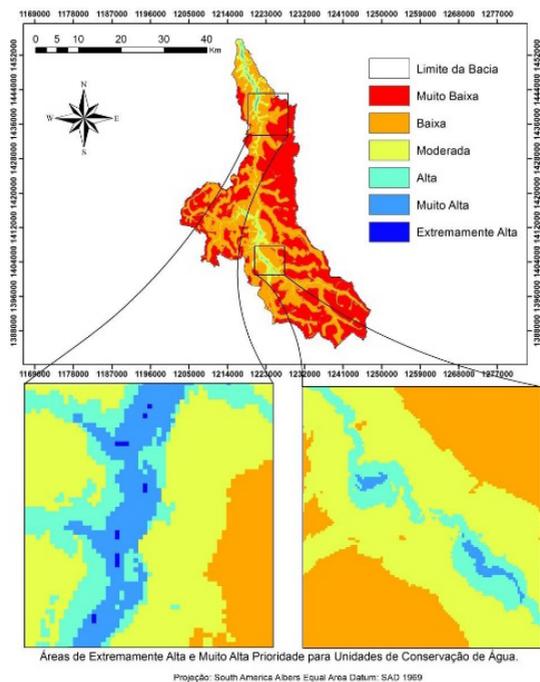


Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A metodologia utilizada permitiu a classificação da Bacia do Rio Claro - MG em relação à prioridade de criação de unidade de conservação de água (Figura 4.3), pois foi baseada em critérios para a conservação/ produção de água e a distância a quedas d'água. Sendo assim, deno-

minam-se estas áreas de Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação de Água (APUCA).

Figura 4.3 - Mapa de Áreas Prioritárias para Unidades de Conservação de Água da Bacia do Rio Claro - M.G



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

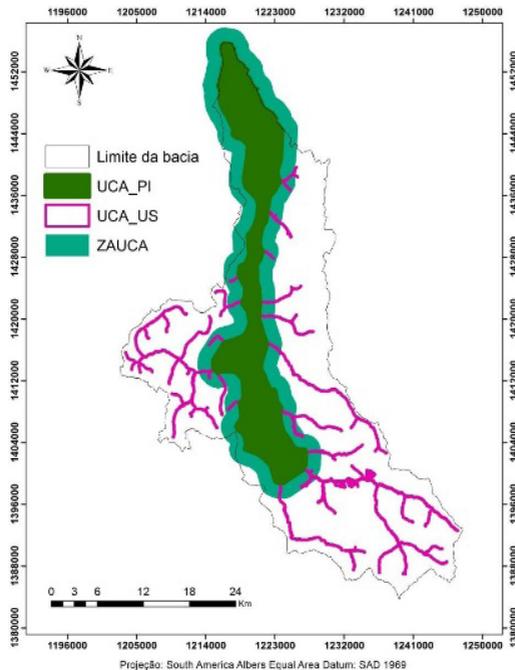
Analisando a Figura 4.3, observa-se que os pontos onde se encontram Áreas de Alta, Muito Alta e Extremamente Alta prioridade de conservação correspondem às áreas onde se encontram as cachoeiras. Isso reforça a eficiência da metodologia proposta, cujo objetivo é servir de suporte para a criação de unidades de conservação, onde um dos fins é propiciar o ecoturismo. Salamuni et al. (2013, p. 201) acrescentam a esse resultado quando afirmam que “cachoeiras podem ser consideradas como bons geossítios, posto que, quase sempre, estão associados à formação e à modificação da paisagem a ser considerada como atrativa ao geoturismo.”

Devido à eficiência da metodologia no suporte a delimitação de unidades de conservação, reunindo aspectos ecológicos de grande

importância à conservação e critérios indicadores de produção de água e beleza cênica, sugere-se que as unidades delimitadas por esta metodologia recebam o nome de Unidades de Conservação de Água (UCA) (Figura 4.4), e se somem as categorias traçadas no SNUC, pois seu principal objetivo é a conservação dos recursos hídricos. Barros (2013) corrobora quando afirma que podem integrar o SNUC, excepcionalmente e a critério do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), unidades de conservação estaduais e municipais idealizadas para atender peculiaridades regionais ou locais, com objetivos de manejo que não possam ser satisfatoriamente atendidos por nenhuma categoria prevista na lei do SNUC, e que suas características permitam uma clara distinção das categorias descritas na lei. Essa realidade já possuiu exemplos, como as Áreas de Proteção de Mananciais (Minas Gerais, 2011). Todavia, essas áreas foram reavaliadas com o objetivo de promover seu enquadramento nas categorias de Unidade de Conservação previstas pelo Código Florestal Mineiro (Minas Gerais, 2013). Em seus artigos 5º e 6º, que também abordam as Áreas de Proteção Especial (APEs) criadas pela Lei nº 6766/1979 que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano (Brasil, 1979). Mesmo assim, reforça-se essa sugestão, tendo em vista o peso de critérios influentes na conservação/produção de água na elaboração da metodologia para a proposição destas unidades de conservação.

A metodologia indicou áreas para a criação de Unidade de Conservação, segundo as categorias do SNUC, que as diferencia em dois grupos: Unidade de Conservação de Proteção Integral e Unidade de Conservação de Uso Sustentável. Selecionou-se uma área indicada como de proteção integral (UCA_Pi), e dentre as categorias das Unidades de Proteção Integral, a criação de um parque estadual (tendo em vista que a área proposta engloba mais de um município do mesmo estado), denominado Parque Estadual Quedas do Rio Claro. A indicação como parque abrange fatores relevantes como a extensão da área proposta, a conectividade de fragmentos florestais, a presença de elementos de beleza cênica, alta relevância ecológica da região, a possibilidade de desenvolvimento de atividades de ecoturismo e educação ambiental, permitindo a integração da comunidade local com as questões ligadas à conservação da área. Legitimando esta proposta, Oliveira et al. (2014) afirmam que os parques são enquadrados na categoria de proteção integral e são áreas com propósito básico de preservar ecossistemas naturais de relevância ecológica e beleza cênica, onde pesquisas científicas, turismo ecológico e atividades de educação ambiental são permitidos.

Figura 4.4 - Mapa de Unidades de Conservação de Água e respectiva Zona de Amortecimento, da Bacia do Rio Claro-M.G



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Em adição, Medeiros e Pereira (2011) afirmam que os parques representam a categoria mais expressiva entre aquelas de preservação total e a segunda com maior alcance entre todas as unidades de conservação. Oliveira et al. (2014) ressaltam que a exclusão das pessoas com o intuito de se proteger uma área cria graves conflitos em todo o mundo, mesmo assim essa é a principal forma de preservação ambiental. Além disso, Medeiros e Young (2011) destacam que os níveis de proteção a que se propõem as UCs influenciam diretamente nas comunidades de macroinvertebrados, interferindo também na qualidade da água. Validando esta afirmação, Rocha et al. (2005) concluíram em seu estudo que as áreas de proteção integral (Parques) foram mais eficientes na manutenção da diversidade de macroinvertebrados aquáticos que as áreas que permitem uso sustentável dos recursos locais (Áreas de Proteção Ambiental- APAs). IBASE (2006) reforça essa linha de pensamento quando assegura que o papel das áreas protegidas como provedoras de serviços ambientais essenciais ao bem-estar das sociedades impõe a revisão da crença de

que a UC de proteção integral, por seus componentes restritivos às atividades humanas, contribui pouco ou quase nada com benefícios apropriados direta e indiretamente.

A presença de geossítios (cachoeiras) e elementos de beleza cênica são justificativas para a criação de parques. Dentro da área selecionada para a instalação do Parque Estadual Quedas do Rio Claro encontra-se, em uma fazenda de propriedade privada, a Cachoeira da Fumaça, a qual se localiza entre os municípios de Nova Ponte e Uberaba, próxima à BR 452 (Uberlândia-Araxá) (Figura 4.5), próximo das coordenadas 47° 48' W e 19° 13' S, estando a 57 km da cidade de Uberlândia, 66 km de Uberaba, 44 km de Nova Ponte e a 105 km de Araxá.

Macedo e Ribeiro (2002) e Soares (2002) corroboram a proposta quando afirmam que a Cachoeira da Fumaça é um grande atrativo devido a sua beleza cênica excepcional, com queda d'água de aproximadamente 60 m de altura e 50 m de largura, Figuras 4.7 e 4.8. No baixo curso do Rio Claro, quando o rio atinge o último derrame de basaltos, as águas continuam límpidas e formam cachoeiras de extrema beleza nas soleiras rochosas em um vale mais encaixado com paisagens belíssimas (Figuras 4.6 e 4.7). Observa-se grande volume de água que cai da cachoeira formando uma espécie de fumaça, composta das pequenas gotas de água que ficam em suspensão no ar, dando origem ao nome da Cachoeira da Fumaça (Figura 4.6).

Nas Figuras 4.9 e 4.13, pode-se observar que a área já é frequentada pela população em busca de lazer, um dos objetivos de criação de parques. Macedo e Ribeiro (2002) legitimam esses resultados quando afirmam que a área é frequentada pela população regional, sendo muito procurada nos finais de semana e feriado, o que pode ser comprovado pelas Figuras 4.11 e 4.13. Essa grande visitação ocorre sem planejamento e controle, o que pode causar impactos à área, conforme os resultados dos estudos de Macedo e Ribeiro (2002) e Teixeira e Ahlert (2011).

Ressalta-se a importância do controle da visitação. Os registros das Figuras 4.11 a 4.13 foram realizados no final da tarde de 15 de outubro de 2017 (domingo de um feriado prolongado). Na Figura 4.11, observa-se a grande quantidade de visitantes no local. Na Figura 4.12, observam-se visitantes caminhando na ponte, destacando-se o risco de acidentes tendo em vista que se trata de uma rodovia. Na Figura 4.13, observa-se a grande quantidade de carros estacionados às margens da rodovia, deixando clara a grande procura por lazer na Cachoeira da Fumaça.

Figura 4.5 - Corredeira pouco acima da Cachoeira da Fumaça, logo abaixo da BR 452 (Uberlândia-Araxá); em 2012



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.6 - Paredão de basalto em frente à Cachoeira da Fumaça, onde se observa o aprofundamento do vale e as gotas de água suspensas no ar formando uma espécie de fumaça, que dá nome à cachoeira; em 2012



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.7 - Vale encaixado em formação de basalto formando a Cachoeira da Fumaça no Rio Claro - MG, em 2013



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.8 - Paredão de basalto e vista de frente da Cachoeira da Fumaça no Rio Claro - MG, em 2013



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.9 - Visitantes contemplando a beleza cênica da Cachoeira da Fumaça, em 2010



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.10 - Acampamento em área de fácil acesso e atraente para banho, próximo a BR 452 (Uberlândia- Araxá), em local acima da Cachoeira da Fumaça, em 2011



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.11 – Corredeira logo abaixo da BR 452 (Uberlândia-Araxá) e grande quantidade de visitantes no local



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.12 – Visitantes caminhando sobre a ponte da BR 452 (Sentido Araxá-Uberlândia). Em segundo plano, carros estacionados em vários pontos as margens da BR 452 e no entorno da 1ª Corredeira



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Figura 4.13 – Grande quantidade de carros estacionados à margem da BR 452 (Uberlândia-Araxá), perto do local de acesso à Cachoeira da Fumaça



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Desde 2002, Macedo e Ribeiro (2002) alertam para a problemática da visitação que ocorre na Cachoeira da Fumaça, destacando que esta causa degradação da área devido à visitação espontânea, predatória e sem controle, além de destacarem os impactos advindos da ocupação e forma do uso do solo no entorno da cachoeira. Teixeira e Ahlert (2011) realizaram um estudo analisando os impactos ambientais de Salto Ventoso, localizado em Farroupilha, Rio Grande do Sul (RS). A área foi escolhida por sua condição como importante atrativo turístico natural, aliado à falta de planejamento para receber visitantes, o que segundo os autores transforma a área em um grande gerador de impactos ambientais, assim como observado na área da Cachoeira da Fumaça. Teixeira e Ahlert (2011) concluíram que Salto Ventoso apresenta uma série de impactos ambientais resultantes da falta de planejamento e da grande quantidade de visitantes, o que ressalta a importância dos resultados deste estudo.

Soares (2002); CBH-Araguari (2008); Silva e Vieira (2011) e Godoy et al. (2013) também legitimam a proposta de criação de uma unidade de conservação nesta localidade, assim como este estudo.

Godoy et al. (2013) sugerem a criação de uma Unidade de Conservação no município de Uberaba, para que haja proteção dos recursos naturais e geocientíficos presentes, entre eles citam as cachoeiras encontradas no local, de menor altura e beleza cênica que a Cachoeira da Fumaça.

Soares (2002) conclui em seu estudo na bacia do Rio Claro que este rio deve ser protegido, pois é uma das belezas naturais da região do Triângulo Mineiro. A autora ressalta que os cursos d'água são cristalinos com pequena concentração de sedimentos e correm mansos nos planaltos do alto e médio curso. Silva e Vieira (2011) concluíram que, ao se considerar o potencial biológico da Bacia do Rio Araguari, bacia da qual o Rio Claro é componente, existe a necessidade de criação de unidades de proteção que visem à conservação dos recursos hídricos na bacia. O Plano Diretor

da Bacia do Rio Araguari traz áreas prioritárias para conservação na Bacia do rio Araguari, mencionando a intenção de criação de uma APA no Rio Claro (CBH-Araguari, 2008).

A relevância da área, por se encontrar no bioma Cerrado e possuir características singulares, juntamente a demanda de criação de UC na área (Barros, 2013), indica a categoria de Parque Estadual como a principal forma de efetivar a conservação na região. A área proposta para criação da Unidade de Conservação de Água de Proteção Integral possuiria uma área total de 21053,11 ha, correspondendo a 19,73% da área da bacia do Rio Claro, englobando uma área de remanescente florestal significativo.

A Unidade de Conservação de Água de Proteção Integral Parque Estadual Quedas do Rio Claro proposta possui 8741,44 ha de vegetação nativa, composta de Campos Hidromórficos e Floresta Semidecidual, porém ainda seriam necessários a restauração florestal de 12311,67 ha. Os resultados de Lima et al. (2011) legitimam a importância deste remanescente florestal. Os autores concluem que a avaliação dos remanescentes florestais possuem grande importância para a indicação do estado do ecossistema, porque a existência de fragmentos florestais implica na conservação dos elementos físicos e biológicos exigidos. Além disso, Lima et al. (2011) ressaltam que a vegetação é considerada um dos indicadores biológicos mais robustos da condição do ecossistema, uma vez que possui distribuição mais estática do que as populações de animais, abrangendo os grandes grupos de espécies animais.

Por meio da proposição do Parque Estadual Quedas do Rio Claro foi possível traçar uma zona de amortecimento nas áreas circundantes da UC, chamada aqui de ZAUCA (Zona de Amortecimento das Unidades de Conservação de Água), num raio de 2 km, indicado para UC's sem plano de manejo (CONAMA, 2010). Esta ZAUCA compreendia 28.366,34 ha; onde as atividades humanas estarão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade. Segundo Lima et al. (2011), a criação de faixas de atividade restrita ao redor dos fragmentos florestais diminui a probabilidade de conversão destas áreas por atividade antrópicas. Assim como indicado por Lima et al. (2011) e procurando-se integralizar as ações de conservação, a zona de amortecimento, na proposta de criação de um Parque Estadual, poderia pertencer a uma das categorias de Unidade de Conservação de Uso Sustentável. Sendo assim, ela se juntaria à área que foi delimitada com esse propósito, nesse estudo, correspondendo a 1831,72 ha, recebendo uma nova nomenclatura ao SNUC, Área de

Proteção de Recursos Hídricos (UCA_APRH). A proposição de nova nomenclatura se deve a metodologia, que utiliza de critérios indicadores de produção de água e grande parte abrangendo Áreas Protegidas como Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, em ambientes naturalmente sensíveis à degradação. A Unidade de Conservação de Uso Sustentável proposta possui 1746,03 ha de vegetação nativa, composta de Campos Hidromórficos e Floresta Semidecidual, sendo que 1501,28 ha são APP, não permitindo nenhum uso, restando 330,44 ha para usos sustentáveis e alternativos nesta unidade.

A partir da criação do Parque e da Área de Proteção de Recursos Hídricos (APRH), problemas ambientais decorrentes da visitação desordenada e da restrição de usos podem ser melhor solucionados, principalmente pelo fomento ao ecoturismo na área. Os resultados do estudo de Macedo e Ribeiro (2002) legitimam essa proposta. Os autores em seu estudo concluíram que o ecoturismo, englobando atividades de lazer como banho, *camping*, rapel e *trekking* ou caminhada, é fundamental para a conservação da área.

Macedo e Ribeiro (2002) e Teixeira e Ahlert (2011) sugerem algumas estratégias para a solução dos problemas relacionados ao turismo identificados na Cachoeira da Fumaça, estratégias essas intrínsecas à criação de um parque como aqui sugestionado. Macedo e Ribeiro (2002) sugeriram a implantação de equipamentos de recepção, infraestrutura adequada ao local, coordenação das atividades e medidas preservacionistas e de recuperação da área já degradada. Teixeira e Ahlert (2011) concluíram em seu estudo em Salto Ventoso-RS que algumas estratégias para manejo do local buscando reduzir os impactos seriam a instalação de infraestrutura de sinalização e segurança, assim como um trabalho de sensibilização ambiental dos visitantes quanto aos impactos gerados por eles no local.

Oliveira et al. (2014) também corroboram a proposta quando afirmam que existe a necessidade de se realizar um planejamento das áreas ambientais destinadas ao turismo, já que estas são a matéria-prima para o sustento de muitas comunidades. O ecoturismo é uma atividade que vem adquirindo maior popularidade na sociedade, e prioriza a utilização do patrimônio natural e cultural, de forma sustentável, promovendo o bem-estar dos envolvidos (Brasil, 2010; Oliveira et al., 2014). Porém é importante uma administração estratégica dos empreendimentos que visem ao ecoturismo, tendo em vista que esta é uma atividade que também causa grande impacto no meio ambiente (Moraes et al., 2008).

Mediante o exposto, analisa-se que existe a demanda para a criação de uma Unidade de Conservação na área deste estudo. Além disso, existe recurso para a criação desta, via compensação ambiental e cobrança dos recursos hídricos.

A criação da Unidade de Conservação proposta é sustentada por diversas fontes das quais se destaca: a) a empresa de abastecimento público de Uberaba possui outorga no Rio Claro para captação para este fim, onde o suprimento de água é feito em períodos de estiagem utilizando-se de sistema de transposição (Santos; Nishiyama, 2016); b) este rio é afluente do Rio Araguari que possui as Usinas Nova Ponte, Miranda, Capim Branco I, Capim Branco II; c) a área de estudo se localiza na região sudeste, região com grande demanda por água. Os artigos 47 e 48 da Lei do SNUC (Brasil, 2000) legitimam estas afirmações, pois indicam que, por meio da cobrança pelo uso dos recursos hídricos protegidos pelas unidades de conservação, as empresas públicas ou privadas que se beneficiam da proteção hídrica, para serviços de geração de energia e abastecimento, devem fazer pagamento à UC, que assegura a disponibilidade desse serviço ambiental, ao proteger os mananciais hídricos. Os recursos obtidos por essa cobrança serão totalmente aplicados em benefício da unidade.

Nesse sentido, IBASE (2006) contribui afirmando que pode-se deduzir que as unidades que protegem um maior volume de recursos usados obterão maior benefício, já que a cobrança tem base na quantidade da água. Para os autores, a qualidade e o fluxo da água são parâmetros importantes para o cálculo do valor dos serviços ambientais gerados pelos ecossistemas naturais. Os autores ainda destacam que nas regiões Sul e Sudeste, com maior demanda pelo uso da água, esses serviços tendem a ser mais valorizados.

Medeiros e Young (2011) também dão embasamento às propostas deste estudo quando afirmam que o avanço na regulamentação da política de pagamento por recursos hídricos pode garantir recursos importantes para o SNUC dadas à relevância da captação de água dentro das UCs e para a regularização dos fluxos hídricos à jusante. Ainda segundo Medeiros e Young (2011), a implementação de UCs garante a participação das prefeituras no mecanismo de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços-Ecológico (ICMS-E), consistindo no aumento da arrecadação da receita municipal via transferência de uma parcela maior de ICMS aos municípios.

Barros (2013) concluiu em seu trabalho que o recurso de compensação ambiental captado na região do Triângulo Mineiro é remanejado para UC de outra região do estado tendo em vista que esta região não possui UC, prejudicando ainda mais a fitofisionomia Cerrado, já tão pouco protegida e muito degradada. A autora ainda afirma que os recursos advindos da compensação ambiental podem ser utilizados em múltiplos aspectos que fortaleçam esses espaços protegidos, como a regularização fundiária, demarcação de áreas para UCs, elaboração de planos de manejo, aquisição de bens e serviços necessários à implantação e gestão, monitoramento e proteção da unidade e sua zona de amortecimento, desenvolvimento de estudos necessários à criação de uma nova unidade de conservação e desenvolvimento de pesquisas nas UC (Brasil, 2000; Barros, 2013), completando a legitimação da proposta deste capítulo.

4.4 Conclusões

A utilização do Índice RDE para a espacialização dos pontos de ruptura de declive mostrou-se satisfatória tendo em vista a correlação dos knickpoints de 1ª ordem com uma grande cachoeira encontrada na área de estudo.

As Áreas Prioritárias para Conservação de Água (APCAs) aliadas ao critério distância das quedas d'água na região, possibilitaram a identificação de áreas prioritárias à criação de unidades de conservação; que serviram de base para a delimitação manual do Parque proposto.

A metodologia estabeleceu critérios mensuráveis e objetivos para o estabelecimento de Áreas Prioritárias para Conservação, permitindo um planejamento conservacionista do espaço territorial com embasamento mais técnico do que é realizado atualmente.

Sugere-se que as unidades de conservação a serem criadas a partir da metodologia indicada neste estudo sejam nomeadas de UCAs (Unidades de Conservação de Água), APRH (Áreas de Proteção de Recursos Hídricos) para as Unidades de Uso Sustentável, e ZAUCA (Zonas de Amortecimento das Unidades de Conservação de Água) para as zonas de amortecimento das UCAs de Proteção Integral, devido ao grande peso dos critérios indicadores de produção de água na identificação destas.

Serão conservados aproximadamente 22.885 ha entre unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, ou seja,

21,45% da área da bacia. Incluindo a ZAUCA e sua transformação em uma APRH esse valor subiria para aproximadamente 51.251 ha, ou seja, 48% da área da bacia.

A proposta é viável, tendo em vista as particularidades da área de estudo, a existência de demanda pela inexistência de UCs na região e existência de recursos via compensação ambiental.

Capítulo 5

Programa ACA - Áreas de Conservação de Água: Pagamento por Serviços Ambientais na Bacia do Rio Claro - MG

5.1 Introdução

Sérios problemas ambientais se refletem na esfera socioeconômica e são acarretados pelo uso de práticas prejudiciais aos ecossistemas naturais, como a falta de cuidado com as áreas florestais. Segundo Paes et al. (2010), o desencadeamento de processos erosivos e suas diversas implicações socioambientais e econômicas tem se constituído em um dos principais problemas enfrentados pela sociedade atual. Nesse sentido, Oliveira et al. (2014) afirmam que a erosão do solo é o principal impacto que afeta o estado de Minas Gerais, com degradação e empobrecimento dos solos e redução da qualidade das águas superficiais nas bacias.

Antoniazzi (2008) destaca que, apesar das atividades agrícolas gerarem impactos negativos no ambiente em geral e nos recursos hídricos em particular, elas podem atuar também como conservadoras dos recursos naturais, prestando serviços ambientais. Executando práticas conservacionistas, o produtor auxilia no combate da poluição difusa por meio da redução da erosão e sedimentação, aumentando a infiltração nos solos e contribuindo para a oferta hídrica na bacia.

Os serviços ambientais são entendidos como toda ação antrópica que causa algum efeito sobre o ecossistema com o objetivo de se apropriar

ou utilizar dos produtos gerados por ele (Young, 2006). Nesse contexto, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) consiste em valorizar os serviços constantemente prestados pela natureza e tem sido uma ferramenta eficaz adotada em algumas regiões brasileiras, resultado da atuação conjugada entre o Poder Público e a sociedade civil, demonstrando caminhos eficientes de preservação dos ecossistemas do país (Jodas, 2010).

Conforme Souza (2013), apenas o sistema de comando e controle, como penas, sanções e taxas, não possui eficácia na tutela do meio ambiente, sendo necessário que complementarmente existam mecanismos de incentivos e prêmios para ser possível alcançar o desenvolvimento sustentável. Souza (2013) ainda aborda sobre a importância do fomento de políticas públicas de incentivos, como as do “provedor-recebedor” por meio de incentivos à geração de renda, facilitação ao acesso a insumos, maquinários, comercialização, assistência técnica e apoio a ações de desenvolvimento sustentável, tal como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

Para Rosa et al. (2014), em razão da significância da cobertura vegetal, a execução de PSA para a manutenção da “floresta em pé” e até mesmo a criação de arranjos para a viabilização de Cotas de Reserva Ambiental (CRA) previstas no Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), demonstram-se extremamente viáveis para a proteção dos recursos hídricos (Brasil, 2012). Nesse contexto, no âmbito de um projeto de PSA-Água, pode-se transacionar sobre as práticas de conservação de remanescentes florestais, de restauração ecológica e florestal, de regeneração assistida e de conservação do solo para a amenização de processos erosivos em áreas prioritárias para a produção de água (Veiga; May, 2010; Aronson et al., 2011).

Os incentivos ambientais demonstram dinamismo e potencial como instrumentos econômicos de gestão voltados ao manejo integrado de bacias hidrográficas (Rosa et al., 2014). Isso acontece porque os incentivos financeiros como o PSA, propiciam uma melhor conservação do solo e, por consequência, aumento da disponibilidade de água, além de todo o processo de admissão do programa objetivar a proteção e a conservação ambiental do local que exerce função fundamental de recarga hídrica (Mattos, 2009; Souza, 2013).

Dentre as iniciativas, destaca-se o Programa do Produtor de Água, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA), que pela utilização do PSA remunera os produtores rurais pelos trabalhos realizados

de conservação na bacia hidrográfica (manutenção ou reconstituição de matas ciliares, conservação de matas nativas, plantio direto entre outros), e já vem sendo implementado em algumas bacias-piloto no Brasil. Esse programa utiliza para avaliação do serviço ambiental relativo ao abatimento da erosão uma forma simplificada da Equação Universal de Perda de Solos (USLE), de Wischmeier e Smith (1978). O programa assume que a redução da erosão implica na redução proporcional da produção de sedimentos no exutório da bacia, beneficiando o meio ambiente e diferentes usuários de água (Chaves et al., 2004b).

Segundo Durães e Mello (2016), a USLE tem sido bastante empregada em diversas escalas para a estimativa da perda de solos. Entretanto, apresenta limitações, sendo que a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE) mostra-se uma ferramenta mais favorável a esse tipo de estimativa. Como todos os fatores da RUSLE podem ser espacializados, é rotineiro o uso do geoprocessamento na avaliação da susceptibilidade do solo à erosão. Sendo assim, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido utilizados aplicando a técnica dos algoritmos de mapas, elaborando mapas com a distribuição espacial média das perdas de solo e sua posterior interpretação no contexto da vulnerabilidade natural (Oliveira et al., 2014).

De acordo com Pandey, Chowdary e Mal (2007), para manejar adequadamente a bacia hidrográfica, objetivando a sustentabilidade dos recursos naturais, é imprescindível se ter informações espacializadas sobre o potencial erosivo dos solos, a produção e o transporte de sedimentos. Segundo Chaves (2010), a quantificação da perda de solo atual e futura por modelos preditivos se torna de suma importância para subsidiar a implantação de um PSA na bacia.

Para Souza (2013), estudos sobre PSA se justificam visto que torna-se cada dia mais concreto o debate sobre casos de PSA, visando encontrar melhores formas para cada realidade, resultando em estratégias que fomentam proprietários rurais a manterem suas florestas em pé e, por consequência, melhoram a qualidade da água ofertada.

O objetivo deste capítulo foi, a partir de uma análise conceitual, das características e dos principais critérios do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) existentes no mundo e no Brasil, avaliar como o PSA pode ser aplicado na bacia do Rio Claro - MG e os benefícios ambientais gerados por sua aplicação. Como objetivos específicos, buscou-se definir critérios de elegibilidade e prioridade, simular o valor necessário para

implantação do programa e estimar a perda de solo atual e após a implantação do programa em cenários.

5.2 Material e Métodos

A área objeto de estudo desta obra foi caracterizada no Capítulo 1, subtítulo 1.4.

Para a elaboração do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais proposto neste capítulo, utilizou-se de pesquisa exploratória, que objetivou proporcionar maior familiaridade com o problema e explicitá-lo, envolvendo levantamento bibliográfico. Segundo Malhotra (2001), o enfoque exploratório e bibliográfico possibilita a compreensão do problema enfrentado pelo pesquisador, definindo-o com maior precisão e identificando cursos relevantes de ação antes que se possa desenvolver uma abordagem.

Para a estimativa da melhoria ambiental auferida pela implantação do programa, adotou-se que esta é proporcional ao abatimento da erosão e, conseqüentemente, da sedimentação, em função das modificações no uso e manejo do solo na bacia do Rio Claro, assim como o Programa Produtor de Água (Chaves, 2010). Sendo assim, a quantificação da perda de solo atual e futura após a implantação do programa foi realizada pelo modelo de predição de perda de solo RUSLE, equação 5.1. A RUSLE é a versão revisada da equação empírica de Wischmeier e Smith (1978) conhecida por equação universal de perda de solo (USLE).

$$A = R \times K \times LS \times CP \quad (5.1)$$

Em que:

A = taxa anual média de erosão do solo por unidade de área ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$),

R = fator erosividade média anual das chuvas ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$),

K = fator erodibilidade dos solos ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$),

LS = fator topográfico, obtido a partir do comprimento de rampa (L) e da declividade (S),

C = fator de cobertura do solo

P = fator de práticas conservacionistas

A RUSLE foi estruturada em um ambiente SIG, no software ArcGis® 10.1™, gerando-se camadas individuais (mapas) para cada fator da equação, com uma resolução espacial de 30 m, permitindo a espacialização e obtenção dos parâmetros por células. Os fatores foram gerados

individualmente e trabalhados em formato raster, os quais foram combinados pixel a pixel, a partir de algoritmos de mapas; desenvolvendo mapas com a distribuição espacial média das perdas de solo.

Para o mapa de erosividade da chuva média anual de forma espacialmente distribuída, foi utilizado o modelo estatístico multivariado proposto por Mello *et al.* (2013), no qual a estimativa da erosividade é feita em função da latitude, longitude e a altitude de cada uma das células da bacia hidrográfica, extraídas a partir modelo digital de elevação (MDE). O fator erodibilidade foi gerado por meio do recorte da área de estudo no Mapa de Solos de Minas Gerais na escala de 1:500.000 (FEAM, 2010), e sua reclassificação, inserindo os valores do fator K encontrados em diferentes literaturas que estudaram os mesmos tipos de solos da região de estudo (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Valores de erodibilidade para os diferentes tipos de solo

TIPO DE SOLO	K (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	FONTE
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,011	Mannigel <i>et al.</i> (2002)
Latossolo Vermelho Distrófico	0,006	Mannigel <i>et al.</i> (2002)
Geissolo Melanico Distrófico	0,0044	Ribeiro e Alves (2007)

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

Para estimar o fator LS, foi empregada a metodologia proposta por Moore e Burch (1986) e Engel (2003), Equação 5.2; na qual para se obter o fator topográfico sobre um terreno tridimensional, se utiliza um modelo digital de elevação (MDE) combinado a procedimentos de cálculo no software ArcGis®10.1™. O MDE, utilizado para cobrir a bacia do Rio Claro, foi gerado a partir da interpolação de cartas do IBGE e apresenta resolução de 10 metros.

$$LS = (FA \times (CS/22,13))^{(0,4)} \cdot (\text{sen}(S)/0,0896)^{1,3} \quad (5.2)$$

Em que:

FA é o fluxo acumulado; CS é o tamanho da célula do MDE (m), e S é a declividade em radianos.

O fator de uso e manejo do solo (C) varia com base na cobertura vegetal. O mapa de uso e manejo do solo foi confeccionado a partir de imagens do sensor multiespectral Rapideye, com resolução espacial de 5 m e referentes ao ano de 2015, adquiridas junto ao Ministério do Meio Ambiente. O mapeamento do uso e ocupação do solo foi obtido a

partir da classificação orientada a objetos por meio do software eCognition Developer 9.0™, seguindo a metodologia de Diniz et al. (2014) e Baatz e Shaäpe (2000).

Os valores de C empregados a cada classe foram obtidos com base em estudos publicados para os mesmos usos do solo (Tabela 5.2). Para o fator de práticas conservacionistas (P), como o objetivo é estimar a implantação de um programa de melhoria das práticas e assim como em Beskow et al. (2009) e Oliveira et al. (2014), entende-se que a maior parte da área de estudo não adota práticas conservacionistas de suporte a erosão, o fator P foi considerado 1 para toda a bacia no Cenário Atual.

Tabela 5.2 - Valores do fator C para as condições de cobertura e uso do solo na bacia no Cenário Atual

USO DO SOLO	C	FONTE
Antrópico	0	-
Água	0	-
Agricultura	0,29	Beskow et al. (2009)
Campo Hidromórfico	0,09	Ozsoy et al. (2012)
Eucalipto	0,3	Martins et al. (2010)
Pastagem	0,09	Ozsoy et al. (2012)
Mata	0,007	Silva et al. (2007)
Solo Exposto	1	-

Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A classificação da perda de solos especializada seguiu a metodologia utilizada por Durães e Mello (2016) que foi proposta por Beskow et al. (2009) (Tabela 5.3).

A perda de solo total da bacia foi estimada pela soma das perdas de solo total por classe. Primeiro, via álgebra de mapas, calculou-se por classe a média da perda de solo em $Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$. Após isso, multiplicou-se os valores pela área ocupada por cada classe, obtendo assim a estimativa da perda de solo em $Mg.ano^{-1}$.

Tabela 5.3 – Classificação de classes de erosão atual modificadas de Beskow et al. (2009) e utilizadas por Durães e Mello (2016)

Valores de perda de solo (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classes
0-2,5	Ligeira
2,5-5	Ligeira a Moderada
5-10	Moderada
10-15	Moderada a alta
15-25	Alta
25-100	Muito Alta
>100	Extremamente Alta

Fonte: Durães e Mello (2016).

A perda de solo futura foi simulada adotando-se em cenários de implantação de um Programa de Pagamento por Serviços Ambientais. No cenário 1, substituiu-se no Mapa de CP o valor de C pelo valor adotado para Mata na área denominada de Área de Conservação de Água (ACA) no Capítulo 3 desta obra. No cenário 2, expandiu-se a implantação do programa para o cenário 1 e toda a área de Agricultura e Eucalipto da bacia, adotando-se um CP de 0,03, conforme indicado pelo Programa Produtor de Água para práticas conservacionistas de grãos, cana e reflorestamento (Chaves et al., 2004a), que são as culturas predominantes na região.

Por entender que o programa seria implantado em nível de bacia, a estimativa do abatimento de erosão e de sedimentação não foi realizada por propriedade individual, como seria o caso de um programa na prática, sendo este cálculo realizado por tipo de uso do solo, assim como na pesquisa de Chaves et al. (2004b), usando-se uma modificação da metodologia indicada para o Programa Produtor de Água. A avaliação partiu de um estágio inicial, onde o nível de erosão A_0 (Mg.ano⁻¹) foi estimado no terreno, antes da implantação do Programa. A mesma estimativa foi feita para a condição após a implantação do projeto conservacionista (A_1). Dessa forma, o percentual de abatimento de erosão e de sedimentação (PAE), obtido com a implantação do projeto proposto foi dado pela Equação 5.3.

$$PAE\% = 100\left(1 - \frac{A_1}{A_0}\right) \quad (5.3)$$

Para a simulação do valor necessário a implantação do programa de pagamento por serviços ambientais na bacia do Rio Claro assumiu-se

que uma parcela dos produtores rurais será reconhecida por suas práticas conservacionistas ou pela preservação ambiental de suas propriedades, e uma parcela de produtores rurais que será incentivada a adotar tais técnicas visando a propiciar o alcance da condição da primeira parcela, mas não se fez distinção entre os valores assumidos.

A simulação do valor necessário para implantação do programa foi calculada multiplicando as áreas dos usos transformados pelo valor R\$ 254,00 ha⁻¹ ano⁻¹ que é a média obtida pelos valores de alguns incentivos financeiros que estão sendo aplicados, além de se utilizar dos valores de R\$ 262,00 ha⁻¹ ano⁻¹ (Prefeitura de Extrema-MG, Pereira et al., 2016); R\$ 200,00 ha⁻¹ ano⁻¹ do Bolsa Verde (IEF, 2012) e R\$ 300 ha⁻¹ ano⁻¹ de floresta em pé (Produtores de Água, Uma Perspectiva... [c.a. 2010]).

5.3 Resultados e Discussão

5.3.1 Programa ACA (Áreas de Conservação de Água): Um Programa de PSA para a bacia do Rio Claro - MG

É legítima a implantação de um PSA como instrumento de gestão ambiental na bacia do Rio Claro-M.G. Os estudos de Mattos (2003) e Rosa et al. (2014) reforçam a validade da implantação de PSA como uma ferramenta de gestão de ambiental.

Rosa et al. (2014) corrobora a indicação da implantação do PSA na bacia do Rio Claro - MG quando afirma que mundialmente adota-se a microbacia como área de abrangência em projetos de PSA-Água. Mattos (2003) reforça essa indicação quando afiança que a bacia hidrográfica pode ser considerada uma única unidade de gestão, podendo também ser subdividida em várias unidades de gestão, podendo ser uma sub-bacia ou uma sub-região com características semelhantes.

A bacia do Rio Claro - MG possui características que justificam a criação de um PSA em sua área.

Pelos resultados de conflito de uso discutidos no Capítulo 2 desta obra, observa-se que os produtores da bacia do Rio Claro - MG transformaram algumas APP em outros usos, trazendo impactos ambientais negativos aos recursos hídricos e biodiversidade da região. Essa situa-

ção configura a existência de uma demanda ao atendimento da legislação ambiental como foco de um projeto de PSA-Água. Nusdeo (2012) corrobora e complementa afirmando que essa situação das APPs torna as propriedades não cumpridoras de sua função socioambiental na proteção dos recursos hídricos. Rosa et al. (2014) ainda reforça essa constatação quando afirma que, nesse contexto, o PSA ampara o produtor a se adequar à legislação vigente, uma exigência do programa, para poder receber a quantia proposta em contrato. Conseqüentemente, observa-se a preservação e a conservação de áreas importantes à conservação da biodiversidade e à segurança hídrica em qualidade e quantidade, o atendimento a um zoneamento e o recebimento de uma renda extra.

Outra característica observada na bacia do Rio Claro - MG e que representa uma grande possibilidade à implantação do PSA-Água é a predominância da agricultura entre os usos do solo, comprovada no Capítulo 2 desta obra. Rosa et al. (2014) corroboram e justificam que essa possibilidade existe tendo em vista que a conservação do solo e a consequente melhoria na produção poderiam garantir um maior envolvimento dos provedores e de suas respectivas propriedades, as quais potencialmente possuirão fragmentos de floresta e/ou vegetação inicial.

Assim como no estudo de Rosa et al. (2014), entende-se que o fato de os remanescentes de vegetação estarem sob o domínio privado e sujeitos a diferentes pressões permitiria a combinação de serviços a serem remunerados (conservação, restauração e conservação do solo), possibilitando o incremento dos pagamentos, a maior atratividade ao provedor e, conseqüentemente, maiores efeitos sobre a proteção dos recursos hídricos.

Tendo em vista a eficiência da metodologia de criação das ACAs como indicador de produção de água detalhada no Capítulo 3 desta obra, denominar-se-á o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais da bacia do Rio Claro - MG de Programa ACA (Áreas de Conservação de Água). Esse programa deve ser construído como uma iniciativa dos governos municipais com parceiros, principalmente com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, a exemplo do Programa Conservador de Água de Extrema (Jardim; Bursztyn, 2015).

O Programa ACA, visaria promover o uso sustentável do solo principalmente nessas áreas de grande influência na conservação qualitativa de água (ACAs) e da biodiversidade por meio da gestão ambiental do território, ampliando o modelo de comando e controle por meio da introdução de um instrumento econômico, partindo do princípio

do poluidor pagador ao provedor-recebedor, da cobrança pelo uso da água ao incentivo para o conservador desta, por meio da implantação do pagamento por serviços ambientais.

Baseado no Programa Produtor de Água (ANA, 2012) ter-se-ia como objetivos do programa: a) aumentar a oferta de água na bacia hidrográfica, por meio da adequada alimentação do lençol freático, a ser obtida com a restauração florestal nas ACAs e mudança de manejo nas outras áreas da bacia, aumentando a infiltração de água no solo; b) reduzir os níveis de poluição difusa rural em uma bacia hidrográfica estratégica como a do Rio Claro - MG, principalmente aqueles decorrentes dos processos de erosão, sedimentação e eutrofização; c) treinamento de potenciais agentes executores do programa em relação aos seus critérios e procedimentos.

Assim como indicado no estudo de Jales, Silva e Vasconcelos (2013), propriedades interessadas que apresentarem características favoráveis e atenderem os requisitos do projeto, seriam cadastradas em um banco de dados para posterior valoração dos itens e, por fim, seriam premiadas por meio do sistema de pagamento por serviços ambientais.

Como recomendado no estudo de Mattos (2009), seria necessária a identificação de uma parcela de produtores rurais que será reconhecida por suas práticas conservacionistas ou pela preservação ambiental de suas propriedades e uma parcela de produtores rurais que será incentivada a adotar tais técnicas visando a propiciar o alcance da condição da primeira parcela.

A ação conjunta envolvendo todas as instituições participantes do programa deve prever apoio técnico e financeiro (realização de infraestrutura) para as ações de recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento de APP, conservação de solo, saneamento ambiental e readequação de estradas vicinais. Além disso, deve prever o pagamento de incentivos (pagamento em espécie) aos produtores que comprovadamente contribuirão para a proteção e recuperação dos mananciais.

Destaca-se que devem ser firmados termos de cooperação mútua entre os proprietários localizados na bacia do Rio Claro e o Comitê de Bacia Hidrográfica. Assim como no Programa Produtor de Água, sugere-se que os pagamentos sejam feitos durante ou após a implantação de um projeto específico previamente aprovado. Os pagamentos podem cobrir, total ou parcialmente, os custos da prática implantada, dependendo de sua eficiência no abatimento da poluição difusa, por meio da celebração de contratos entre os agentes financiadores e os produtores participantes.

Além disso, considerando-se a necessidade de aprimoramento da avaliação desses benefícios, deve haver o desenvolvimento de um programa de monitoramento. Os dados obtidos nesse monitoramento não devem ter o objetivo de alterar as cláusulas estabelecidas em contratos já firmados; entretanto, devem ser de fundamental importância para melhorar a avaliação dos benefícios gerados pelas diversas práticas utilizadas, permitindo assim o ajuste dos indicadores para a contratação de novos projetos no âmbito do Programa (ANA, 2012).

Os incentivos financeiros poderiam vir também do mercado de créditos de carbono. Brito (2016) legitima essa proposta afirmando que o mercado de carbono é um mecanismo previsto no Código Florestal (Brasil, 2012).

Nesse sentido, as áreas de Reserva Legal também poderiam ser remuneradas, além dos excedentes que constituiriam Cotas de Reserva Legal, conforme preconizado no Código Florestal (Brasil, 2012). De acordo com a norma, o proprietário de imóvel rural que mantiver a Reserva Legal conservada e averbada em área superior ao legalmente exigido poderá instituir servidão do excedente por meio de Cotas de Reserva Ambiental (CRA).

Soares-Filho et al. (2014) endossam a proposta com seu estudo, ao concluírem que o uso das CRAs poderia criar um mercado de negociação de terras florestadas, por meio da atribuição de valor monetário à vegetação nativa, reduzindo em 56% o déficit de Reserva Legal do país. Ainda, segundo Soares Filho et al. (2014), observar-se a proteção de florestas que poderiam ser legalmente desmatadas, devido ao aumento da facilidade em cumprir o Código Florestal pelo comércio de CRAs (com menores custos do que os da restauração florestal).

Propõe-se que o Programa ACA ofereça assistência técnica para orientar o produtor a tirar melhor proveito da atividade de sua propriedade e, principalmente, dos usos possíveis nas áreas de Reserva Legal. O Programa pode fornecer também mecanismos de implantação das atividades e usos nas áreas de reserva legal, propiciando melhoria social nas propriedades identificadas como necessitadas. Antes desta assistência técnica, indica-se que os problemas de poluição de água que existam na propriedade sejam levantados e sanados, a custo do Comitê e parceiros caso seja identificada situação financeira precária. Indica-se também que contratos de compra do direito de desenvolvimento sejam firmados entre os produtores, o Comitê e os governos municipais, tendo em vista que a bacia do Rio Claro é estratégica para o abastecimento público da cidade de Uberaba (Santos; Nishiyama, 2016).

Diretrizes correlatas foram adotadas pelo programa implantado pela cidade de Nova Iorque, localizada nos Estados Unidos da América. A cidade de Nova Iorque optou por adquirir e recuperar áreas da bacia de Catskill ao invés de construir uma complexa estação de tratamento de água. A economia no processo foi de mais de US\$ 3 bilhões (The Catskill Center, 2004), comprovando a eficiência das ações. O New York Watershed Agricultural Council (2017) reforça o proposto neste estudo afirmando que o programa ao mesmo tempo em que preserva a água melhora o desempenho da propriedade, por meio de várias práticas de manejo. O programa fornece o pagamento da reserva de floresta e assistência técnica para orientar o produtor a tirar mais proveito da atividade. Antes da assistência técnica, porém são resolvidos os problemas de poluição de água que existem na propriedade, por exemplo, por meio da implantação de sistema de captação de esgoto, tanques para estocar estrume, pontes, entre outros.

Assim como proposto neste estudo, o contrato de compra do direito de desenvolvimento é uma das estratégias usadas pelo programa de Nova Iorque (New York Watershed Agricultural Council, 2017). O programa explica que esta servidão de conservação trata-se de uma restrição permanente colocada em uma propriedade para proteger certas características de recursos naturais identificados pela escritura de servidão de conservação. Geralmente, servidões de conservação são vendidas ou doadas por um proprietário para uma organização de conservação qualificada e constituem um acordo legalmente vinculativo que podem limitar ou condicionar que certos tipos de usos ou atividades ocorram em uma propriedade em perpetuidade, ou prevenir que o desenvolvimento ocorra em uma propriedade em perpetuidade, a fim de cumprir os propósitos de servidão de conservação. Servidões de conservação funcionam como convênios jurídicos não possessórios sobre uma propriedade. Como tal, os proprietários de terra ainda possuem a propriedade e podem vender ou transferir a propriedade onerada por uma servidão. Servidões de conservação visam proteger a terra para as gerações futuras através da restrição ou condicionamento de certos direitos ou usos necessários para proteger os valores de conservação específicos, tais como a qualidade da água, permitindo a retenção de outros direitos e usos por um proprietário de terras (incluindo o direito de vender ou de transferência).

Baseado nas recomendações de Uma Perspectiva... [c.a. 2010] sugere-se ainda como diretriz do Programa ACA, a concessão de benefício adicional ao proprietário que declarar as áreas recuperadas e estratégicas como Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), assegurando sua salvaguarda definitiva.

Ainda pautado nas recomendações de Uma Perspectiva ... [c.a. 2010], propõe-se a concessão de crédito rural diferenciado para os agricultores certificados pelo programa e que assegurem os serviços ecossistêmicos na sua propriedade, com taxas de juros, carência, prazo de pagamento e garantias favorecidos. Recomenda-se também a inclusão da recuperação (conservação) das áreas com potencial para produzir serviços ambientais como obrigatória na concessão do crédito público e, nesse sentido, as ACAs propostas no Capítulo 3 da presente obra. Essa proposta é reforçada pela experiência do Zoneamento agrícola de risco climático; que serve de orientação para o crédito de custeio agrícola oficial, bem como o enquadramento no seguro rural privado e dos programas governamentais público (EMBRAPA, 2017).

Sugere-se também a certificação dos produtos advindos das propriedades participantes, conforme preconizado por Godecke, Hupffer, Chaves (2014).

O programa teria como premissa que a unidade de gestão é formada por um conjunto de propriedades rurais, e que este conjunto é responsável pelo nível de produção de água na unidade de gestão, assim como no estudo de Mattos (2009). Essa premissa se deve ao fato de as ACAs, indicadas no Capítulo 3 desta obra e que poderiam ser utilizadas como um critério de prioridade de implantação, se tratassem de um indicador de produção de água que representa a Unidade de Gestão como um todo e não a propriedade de forma individualizada. Portanto, se não existir um envolvimento de todas as propriedades rurais, a unidade de gestão não terá uma produção de água satisfatória.

Entende-se que as Áreas de Conservação de Águas (ACAs) indicadas no Capítulo 3 desta obra são sub-regiões com características semelhantes e prioritárias de conservação da bacia do Rio Claro - MG. Esse critério de prioridade já é adotado pelo Projeto Produtor ES de Água, conforme verificado no estudo de Jales, Silva e Vasconcelos (2013).

Jales, Silva e Vasconcelos (2013) selecionaram sub-bacias prioritárias no município de Brumadinho (MG) para implantação do Projeto Oasis. O principal foco deste projeto é o desenvolvimento de um modelo em premiação de proprietários rurais pelos serviços ambientais providos por suas áreas, por meio do mecanismo de PSA. A metodologia de indicação das áreas prioritárias foi o método de análise multicritério (AMC) em um sistema de informação geográfica (SIG), o que reforça a aplicabilidade que pode ser dada as áreas indicadas como ACAs no Capítulo 3 o

que reforça a aplicabilidade que pode ser dada as áreas indicadas como ACA's e como Unidades de Conservação de Água (UCA's) nos Capítulos 3 e 4 desta obra; obtidas também por AMC em ambiente SIG.

Souza (2013) reforça a proposta quando afirma que, para um melhor funcionamento dos PSA, é necessário focar em áreas prioritárias e definir prioridades quanto ao que se quer conservar e onde, devido às restrições orçamentárias. Uma perspectiva... [c.a. 2010] também corrobora afirmando que dentre os procedimentos para a aplicação do programa Produtor de Água está a definição de áreas prioritárias, baseada em estudos desenvolvidos para as bacias hidrográficas, identificando as áreas prioritárias para a aplicação do programa. Ainda, segundo Uma perspectiva... [c.a. 2010], o Projeto ProdutorES de Água está sendo implementado nas bacias hidrográficas do Rio Benevente, São José e Guandu. Foram identificadas as sub-bacias prioritárias na contemplação, considerando a sua localização junto às cabeceiras, tendo como critério de participação qualquer proprietário rural em áreas definidas como prioritárias e estratégicas para os recursos hídricos, que possuem remanescentes de mata atlântica em suas propriedades.

Em relação aos critérios de elegibilidade, poderiam ser adotados os critérios de elegibilidade do programa Bolsa Verde. Souza (2013) reforça esta proposta afirmando que o Programa Bolsa Verde é uma ferramenta eficiente de trabalho no estado de Minas Gerais. No entanto, adaptações devem ser realizadas levando-se em conta as particularidades da região e a consulta a outras iniciativas de PSA no Brasil, o que não é objeto deste estudo, nem cabe à alçada deste se aventurar mediante ao tipo de informações levantadas e geradas, pois abordariam informações de caráter econômico-social. Sendo assim, sugere-se que o Programa ACA possa ser implantado seguindo critérios a serem definidos pelo comitê em parceria com as secretarias responsáveis dos Municípios.

Souza (2013) ressalta em seu estudo a definição de critérios de elegibilidade é importante porque, a partir da avaliação das condições e práticas adotadas na propriedade, é que se criam parâmetros para elencar quais localidades devem ter atendimento prioritário. Souza (2013) ainda reforça a indicação das ACAs e das UCAs como um critério de elegibilidade quando afirma em seu estudo que projetos de PSA observam critérios de elegibilidade, que possuem a função de garantir a transparência e justiça no processo de repasse dos recursos, sendo que aspectos podem ser pontuados e elencados de acordo com as prioridades do local.

Entende-se que as ACAs são áreas indicadoras de produção de água. Assim como no estudo de Mattos (2009), por meio deste indicador os gestores dos órgãos de recursos hídricos entre outros, poderão tomar decisões sobre o incentivo financeiro aos produtores rurais localizados nesta região.

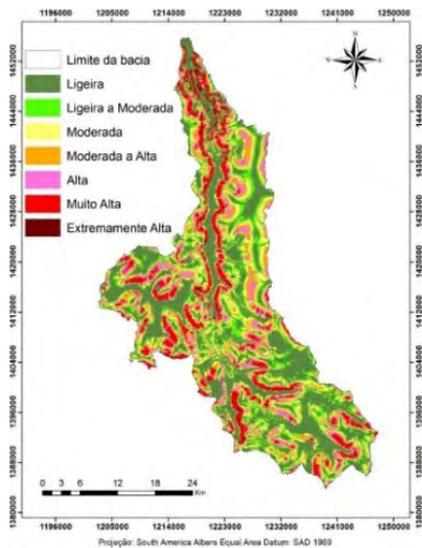
As ACAs podem servir de base para estabelecer a ordem de aplicação dos recursos de forma gradativa, possibilitando que os gestores avaliem a eficácia do programa e tomem decisões ao longo de sua implantação. Mattos (2009) convalida esta indicação em seu estudo, afirmando que este indicador de produção de água da unidade de gestão fornece suporte para definição de áreas prioritárias de investimento. Como as Unidades de Conservação de Água (UCAs) propostas no Capítulo 4 desta obra foram pautadas nos mesmos critérios de conservação de água que as ACAs, acredita-se que, a partir da criação das unidades de uso sustentável indicadas pela metodologia, estas também possam se tornar áreas que propiciam o estabelecimento da ordem de aplicação dos recursos de forma gradativa, entrando como prioritárias.

5.3.2 Estimativa da melhoria ambiental do Programa ACA

A distribuição da perda de solos em classes pode ser observada nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3, para os diferentes cenários de simulação.

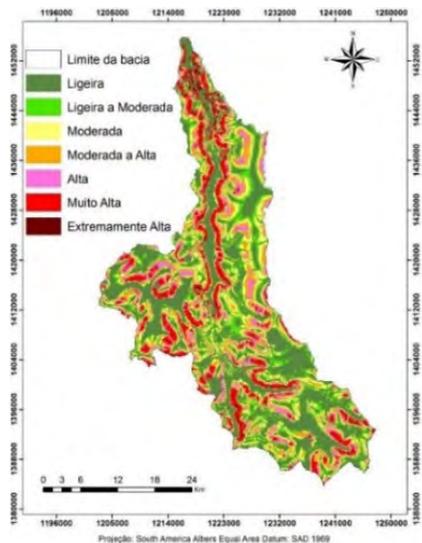
Comparando-se os Mapas de Distribuição da Erosão nos diferentes cenários, pode-se constatar o importante papel da cobertura do solo na atenuação da perda de solo. No Cenário Atual e Cenário 1, perdas de solo das classes extremamente alta até moderada a alta ocorrem em maiores áreas em comparação ao Cenário 2, tornando-se nítida a relação entre o uso e manejo na proteção contra a erosão. As maiores diferenças podem ser observadas nas áreas em direção à drenagem principal e ao exutório da bacia, alterando-se da classe muito alta para classe moderada, e em diversos pontos da classe muito alta a classe ligeira à moderada.

Figura 5.1 - Distribuição da Erosão Atual da Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

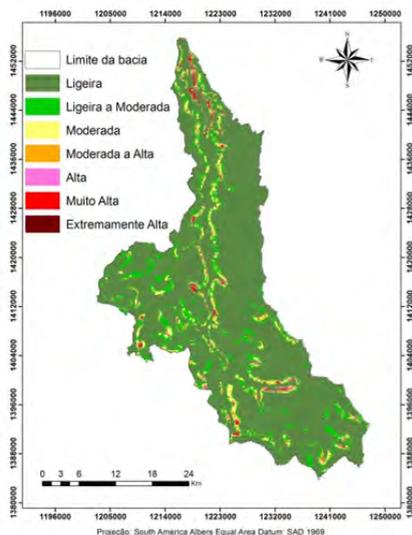
Figura 5.2 - Distribuição da Erosão no Cenário 1 na Bacia do Rio Claro-MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

A perda de solo atual da bacia é de 1359008,30 Mg de solo.ano⁻¹. Após a implantação do Programa ACA no Cenário 1, transformando em floresta toda a área das ACAs, o que equivale a 9746,94 ha, a perda de solo seria de 1299559,06 Mg de solo.ano⁻¹, deixando de desprender 59449,24 Mg de solo. ano⁻¹, o que equivale a 4,4% de redução em relação à situação atual. A baixa redução se deve ao fato de espacialmente a área da ACA estar localizada nas áreas que perdem menor quantidade de solos, pois já é coberta por 3327,43ha de floresta, o que corresponde a 34,1% da área da ACA. Porém, isto não inviabiliza a proposta; reforça a importância de se pagar ao produtor para que continue mantendo essa floresta e a vegetação nativa (campo hidromórfico); tendo em vista o serviço ambiental que esta comprovadamente sendo ofertado na redução dos sedimento. Cabe lembrar que a quantidade de sedimentos que deixa de ir para o corpo d' água influencia diretamente a qualidade deste, fato muito importante pelo Rio Claro ter suas águas transpostas para suprimento de água da cidade de Uberaba (Santos; Nishiyama, 2016).

Figura 5.3 - Distribuição da Erosão no Cenário 2 na Bacia do Rio Claro - MG



Fonte: Sousa e Coelho (2023).

No Cenário 2, onde a implantação do Programa ACA é expandida para toda a área de Agricultura e Eucalipto da bacia, adotando-se práticas conservacionistas, a perda de solo seria de 216216,77 Mg de

solo.ano⁻¹, deixando de desprender 1142791,52 Mg de solo. ano⁻¹, o que equivale a 84,1% de redução em relação à situação atual. Ressaltando que o Programa ACA teria como premissa que a unidade de gestão é formada por um conjunto de propriedades rurais, sendo este conjunto responsável pelos resultados em abatimento de erosão e sedimento, aumentando o nível de produção de água na unidade de gestão. Os resultados da simulação foram gerados considerando a participação de todos os proprietários rurais da bacia.

5.3.3 Valoração e recursos para implantação do Programa ACA

Baseado nos programas de PSA inseridos no Brasil, a valoração dos serviços ambientais do Programa ACA pode contemplar a conservação do solo (por meio do cálculo do percentual de abatimento de erosão), a conservação das florestas (por meio da conservação dos fragmentos existentes) e a conservação das APPs (utilizando o incentivo pecuniário para a conservação).

Os estudos de Mattos (2009) e ANA (2012) legitimam a proposta ressaltando que os valores a serem pagos aos produtores devem ser calculados conforme a redução da erosão e da sedimentação, proporcionadas pelas práticas implantadas, e pela melhoria da cobertura vegetal da bacia. Também deve ser analisada a eficácia destas ações na redução da poluição difusa e no aumento da infiltração de água no solo. Os produtores que adotarem efetivas medidas conservacionistas nas áreas selecionadas podem receber incentivos para continuarem agindo de modo ecologicamente correto, tendo como valores de referência as práticas já adotadas. Para os produtores que mantêm áreas florestadas, o valor do incentivo pode ser feito com base na disponibilidade que eles têm de apoiar a recuperação das APPs existentes nas propriedades. O valor cresce conforme o percentual das APPs recuperadas e com o cuidado que o produtor rural tem com suas áreas florestadas.

Sugere-se que estudos mais aprofundados sobre a realidade da região onde está localizada a bacia do Rio Claro - MG sejam conduzidos para a definição dos critérios de cálculo dos valores referente ao Pagamento por Serviços Ambientais na bacia do Rio Claro - MG, incluindo particularidades na modalidade de PSA como a biodiversidade, o endemismo, a beleza cênica, créditos de carbono, entre outros. Souza (2013)

corroborando destacando que para um melhor funcionamento dos PSA é necessário definir valores atrativos para cada área em que será implantado um programa de pagamento por serviços ambientais. Mattos (2009) afirma que não se pode desprezar o uso atual das áreas estudadas como parâmetro de definição dos valores a serem aplicados pelo programa de PSA, evitando assim um impacto social devido à continuidade dos recursos oferecidos. Nessa linha, Mattos (2009) cita como exemplo a base de pagamento do Valor de Referência do Programa Bolsa Verde, comumente utilizada para arrendamento de pastagens, onde o uso da terra é remunerado em 65% do preço do litro de leite/ha.dia. O Programa Conservador de Água do Município de Extrema utiliza a base de 100 Unidades Fiscais do Município por hectare (ha) por ano. Ainda, como exemplo de base de pagamento, cita-se o Projeto ProdutorES de Água, no qual o valor do pagamento está condicionado à avaliação da propriedade mediante critérios técnicos, considerando o estágio de regeneração da cobertura florestal e o grau de declividade do terreno onde a mesma se localiza (Uma Perspectiva... [c.a. 2010]). Chaves et al. (2004b) completam ressaltando que em programas de compensação por serviços ambientais água, como o “Produtor de Água”, haveria vários custos envolvidos, tais como custos relativos à mobilização e cadastramento dos produtores, à assistência técnica, à compensação das modificações de uso e manejo do solo, e ao monitoramento e auditoria. Entretanto, o presente trabalho se ateve apenas àqueles custos referentes à compensação financeira aos agricultores, em função dos benefícios ambientais auferidos fora da propriedade, assumindo que uma parcela dos produtores rurais será reconhecida por suas práticas conservacionistas ou pela preservação ambiental de suas propriedades e uma parcela de produtores rurais será incentivada a adotar tais técnicas visando a propiciar o alcance da condição da primeira parcela, mas não se fez distinção entre os valores assumidos.

A simulação sobre os valores necessários para a implantação do Programa ACA foi realizada adotando-se que no Cenário 1, toda a área de ACA seria transformada em floresta e, no Cenário 2, acrescentar-se-ia a mudança para práticas conservacionistas. Tendo em vista que as ACAs equivalem a 9746,94 ha, utilizando-se o valor de R\$ 254,00 ha⁻¹ ano⁻¹, seriam necessários R\$ 2.486.136,13 por ano para a implantação do Programa ACA no Cenário 1. No Cenário 2, que equivale a uma área de 91.647,14 ha, e 84,1% de abatimento na erosão, percentual que, segundo Chaves et al. (2004a), equivale a 100% do valor de remuneração, seriam necessários R\$ 23.278.373,27 por ano para a implantação do Programa ACA.

Destaca-se que a questão da valoração é bastante complexa. Souza (2013) reforça a afirmação quando aborda que a valoração do PSA também poderá variar de acordo com o montante de recursos disponíveis pela fonte financiadora. Nesse sentido, na realidade da Bacia do Rio Claro, os recursos podem advir da utilização dos recursos de cobrança pelo uso da água já instalada na Bacia do Rio Araguari, do qual o Rio Claro é sub-bacia. Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, os recursos provenientes de 92,50% da cobrança pelos usos dos recursos hídricos devem ir para o financiamento de programas, estudos, projetos e obras de melhoria da disponibilidade hídrica, conforme consta no Contrato de Gestão 002/09, firmado entre o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Agência da Bacia Hidrográfica do rio Araguari (ABHA), dentro dos limites do Plano de Aplicação (CBH, 2012). Segundo o IGAM (2017), a arrecadação pela cobrança de água na Bacia do Rio Araguari no ano de 2015 foi de R\$ 4.805.346,06, sendo assim disponível para programas na bacia do Rio Araguari R\$ 4.444.945,11 – valor que cobre o investimento proposto para o Cenário 1, mas que é ultrapassado no Cenário 2. Entendendo-se que este valor é para toda a bacia do Rio Araguari, e que o Cenário 1 constitui-se um cenário de início e que o ideal é se trabalhar com o Cenário 2, sugere-se outras fontes de fomento. Os recursos podem advir dos Termos de Ajustamento de Conduta (TACs) firmados entre o Ministério Público de Uberaba e região, tendo em vista que a cidade de Uberaba possui outorga para abastecimento no Rio Claro, sendo este um manancial de reserva para casos de escassez ou elevação da demanda de água no município. Caso inserida em áreas de unidades de conservação, o fomento dos projetos poderá vir das fontes preconizadas nos arts. 47 e 48 da Lei 9985/2000, destacando-se a importância da criação das Unidades de Conservação de Água propostas no Capítulo 4 desta obra.

5.4 Conclusões

As ACAs e as UCAs, geradas respectivamente no Capítulo 3 e 4 desta obra, seriam um bom critério de elegibilidade ou de prioridade na aplicação dos recursos dentro de um PSA, assegurando o objetivo de conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos da região da bacia do Rio Claro - MG.

O Cenário 1 traria uma redução de 4,4% na perda de solo da bacia e o Cenário 2 traria 84,1% de redução.

Os valores arrecadados com a cobrança da água na Bacia do Rio Araguari cobrem os valores necessários para a implantação do Programa ACA no Cenário 1, que seria um cenário inicial, fora as outras fontes de recursos citadas no estudo.

O Programa ACA e os benefícios estimados neste estudo podem orientar a criação/regulamentação da lei para a implantação de um Programa de Pagamento por Serviços Ambientais na bacia do Rio Claro - MG.

Parte 3

Considerações finais

A bacia do Rio Claro apresenta indisponibilidade hídrica, comprovada pelas Declarações de Área de Conflito, alta demanda (ampliação da vazão outorgada) e extrapolação da vazão outorgável.

Essa situação evidencia a necessidade da criação de estratégias de gestão ambiental por meio de mecanismos de proteção e conservação dos recursos hídricos, assegurando a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental da bacia.

As metodologias elaboradas neste estudo mostraram-se adequadas ao mapeamento de áreas prioritárias à conservação de água e a proposição de unidades de conservação.

Com a criação das unidades de conservação propostas, serão conservados aproximadamente 22.885 ha entre unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, ou seja, 21,45% da área da bacia. A proposta é viável, tendo em vista as particularidades da área de estudo, a existência de demanda pela inexistência de UCs na região, e existência de recursos via compensação ambiental.

A bacia do Rio Claro - MG possui características que justificam a criação de um PSA em sua área como a agricultura como uso predominante e existência de conflitos de uso nas APP.

As ACAs e as UCAs seriam um bom critério de elegibilidade ou de prioridade na aplicação dos recursos dentro de um PSA, assegurando o objetivo de conservação quali-quantitativa dos recursos hídricos da região. A localização da propriedade nessas áreas pode se tornar mais um dos critérios de prioridades para a seleção do produtor ao programa Bolsa Verde de Minas Gerais e outros programas em andamento. A priorização destas áreas podem diminuir os custos de transação e potencializar os efeitos de um projeto de PSA- Água.

A criação da Área de Proteção de Recursos Hídricos (APRH) pode ser o elemento que assegure a sustentabilidade do PSA proposto, tendo em vista as fontes preconizadas nos arts. 47 e 48 da Lei 9985/2000, tornando-se a garantia de continuidade do programa ao fornecer ao produtor a segurança necessária para a assinatura do acordo com o município ou comitê.

O uso das ferramentas de suporte à decisão foi de grande relevância e eficiência na estimativa dos benefícios ambientais proporcionados pelo Programa ACA, apresentando reduções de até 84,1% na perda de solo da bacia. Esses resultados podem ser utilizados no processo de convencimento dos potenciais beneficiários e provedores do Programa ACA.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual Operativo do Programa “Produtor de Água”**. Brasília, 2012. 84 p.
- AGOSTINHO, A. A. et al. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 70 - 78. 2005.
- ALLAN, J. D. Influence of land use and landscape setting on the ecological status of rivers. **Limnetica**, v. 23, p. 187- 198, 2004.
- ALMEIDA, R. P. de et al. Uso e ocupação do solo em áreas de assentamentos rurais no norte de Minas Gerais. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 18, n. 62, p. 13 – 31, 2017.
- ALVES; H. Q.; ROSSETE, A. N. Áreas de uso e de conflito em APP na microbacia hidrográfica do Córrego Murinho – Nova Xavantina-MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3701-3708.
- ANTONIAZZI, B. L. Agricultura como provedora de serviços ambientais para proteção de bacias hidrográficas. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, p. 52 - 63, 2008.
- ARAGUARI. **Resolução CBH - Araguari nº 34, de 27 de março de 2012**. Institui o Programa Água Boa e o Programa Mais Água no âmbito da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari. Disponível em: <https://admin.cbharaguari.org.br/arquivos/resolucoes/093f65e080a295f8076b1c5722a46aa2.pdf> . Acesso em: 22.out. 2016.
- ARAGUARI. **Plano diretor da Bacia do Rio Araguari**. 2008.
- ARES. **Atlas das áreas com potencial de riscos do Estado do Espírito Santo**. Vitória: Imprensa Estadual, 2006. 125p.
- ATANAZIO, R. **Geoprocessamento aplicado em projeto de Pagamento por Serviços Ecosistêmicos (PSE) no município de Apucarana, PR**. In: Anais XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, - SBSR, 2011, Curitiba, PR, Brasil. **Anais [...]** Curitiba: INPE, 2011. p. 4720 - 4727.

- BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M.; LIMA, E. R. V. de. Mapeamento de adequação de uso das terras através da técnica de análise de multicritério em ambiente SIG: estudo de caso do município de Conde - PB, Brasil. **Revista Colombiana de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 13 - 23, 2013.
- BASTOS, C. V. R. de A. Instrumentos econômicos de proteção do meio ambiente: reflexões sobre a tributação e os pagamentos por serviços ambientais. **Scientia Iuris**, Londrina, v. 11, p. 279 - 293, 2007.
- BENSUSAN, N. **Conservação da Biodiversidade em Áreas Protegidas**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 2006.
- BENTO, L. C. M.; RODRIGUES, S. C. Seleção de geossítios para uso turístico no parque estadual do Ibitipoca/MG (PEI): uma proposta a partir de metodologias de avaliação numérica. **Investigaciones Geográficas**, v. 85, pp. 33 - 46, 2014.
- BESKOW, S. et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, p. 49 - 59, 2009.
- BRITO, E. R. et al. Identification of degraded areas and classes of vegetal cover through geographical information system, for environmental adequacy. In: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (Editores,). **High diversity forest restoration in degraded areas: methods and projects in Brazil**. New York: Nova Science Publishers, p. 247-260, 2007.
- BURKAT, M. R.; JAMES, D. E.; TOMER, M. D. Hydrologic and terrain variables to aid strategic location of riparian buffers. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 59, p. 216 - 223, 2004.
- CABRAL, N. R. A. J.; SOUZA, M. P. **Área de Proteção Ambiental: planejamento e gestão de paisagens protegidas**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.
- CALEGARI, L. et al. Análise da dinâmica de fragmentos florestais no município de Carandaí, MG, para fins de restauração florestal. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 34, n. 5, p. 871 - 880, 2010.
- CARVALHO, J. R. M. et al. Metodologia para avaliar a sustentabilidade ambiental de municípios utilizando análise multicritério. **Revista REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil v. 1, n. 1, p. 18 - 34, 2011.

CBH - ARAGUARI - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI. **Resumo Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araguari**. 2011. Disponível em: http://cbharaguari.com.br/site/modules/mastop_publish/?tac=Plano_Diretor. Acesso em: 15 mar. 2013.

CHAVES, A. A. A. et al. Uso das terras da bacia do rio Descoberto Distrito Federal, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 711 - 718, 2010.

CHAVES, H. M. L. et al. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, 05 - 14, 2004a. Disponível em: http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Chaves%20et%20al._1__Corrigido.pdf. Acesso em: 26 jun. 2015.

CHAVES, H. M. L. et al. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, 15 - 21, 2004b. Disponível em: <https://www.abrhydro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=31&SUMARIO=496>. Acesso em: 26 jun. 2015.

CHAVES, H. M. L. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no Pagamento por Serviço Ambiental em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1469 - 1477, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/st9VTPrQn-qMS4kts6TtgZRY/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.

CHAVES, H. M. L.; SANTOS, L. B. dos. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, (Suplemento), p. 922 – 930, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700015>. Acesso em: 22 jul. 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN; M. J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. **Environmental Management**, v. 28, n.5, p. 611–621, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/11779069_Land-Use_Suitability_Analysis_in_the_United_States_Historical_Development_and_Promising_Technological_Achievements. Acesso em: 26 jan. 2015.

DAILY, G. C. **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997. 392 p.

DALLA-NORA, E. L. et al. Why have land use change models for the Amazon failed to capture the amount of deforestation over the last decade? **Land Use Policy**, v. 39, p. 403 - 411, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837714000246>. Acesso em: 26 jan. 2015.

DINIZ, J. M. F. S. et al. Detecção da expansão da área minerada no quadrilátero ferrífero, minas gerais, no período de 1985 a 2011 através de técnicas de sensoriamento remoto. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p. 683 - 700, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bcg/v20n3/1413-4853-bcg-20-03-0683.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2015.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 677 - 685, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016121182>. Acesso em: 21 dez. 2016.

ECHAVARRÍA, M. O financiamento para a conservação das bacias hidrográficas: o Fundo da Água de Quito, Equador. In: PAGIOLA, S., BISHOP, J.; LANDELL-MILLS, N. **Mercados para serviços ecossistêmicos: instrumentos econômicos para conservação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Rebraf, 2005.

ENGEL, B. **Estimating soil erosion using RUSLE - Using Arcview**. EUA: Purdue University, 2003.

ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços neo-quaternários no vale do rio do Peixe, planalto ocidental paulista: Implicações estratigráficas e tectônicas**. 2000. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, São Paulo, 2000.

FARIA; D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 23 - 44, 2013.

FEAM-FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte: FEAM/UFV/ CETEC/UFLA, 2010. 49 p.

FLAUZINO, F. S. et al. Geotecnologias Aplicadas à Gestão dos Recursos Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 75 - 91, abril, 2010.

FOLLMANN, F. M.; FOLETO, E. M. Importância das áreas com vegetação na área de conservação natural do aquífero arenito basal Santa Maria, Santa Maria, RS. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v. 33, n. 1, p. 37 - 51, 2013.

FRANCISCO, C. E. da S. **Áreas de Preservação permanente na bacia do ribeirão das Anhumas**: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial. 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2006.

FRANCISCO, C. E. da S. et al. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais**[...] Florianópolis: INPE, 2007. p. 2643 - 2650.

FREITAS, E. P. et al. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 443 – 449, 2013.

FUJITA, R. H. et al. Perfil longitudinal e a aplicação do índice de gradiente (RDE) no rio dos Patos, bacia hidrográfica do rio Ivaí, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 2008. Curitiba. **Anais** [...] Curitiba, PR. 2008.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; SIMOURA, L. T. Cobertura florestal e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. **Scientia Plena**, v. 12, n. 01, p. 1 - 15, 2016.

GELUDA, L.; YOUNG, C. E. F. Pagamento por serviços ecossistêmicos previstos na Lei do SNUC – Teoria, potencialidades e relevância. In: III SIMPÓSIO DE ÁREAS PROTEGIDAS, 2005.

GODECKE; M. V.; HUPFFER, H. M.; CHAVES; I. R. O futuro dos Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil a partir do novo Código Florestal. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 31, p. 31 - 42, 2014.

GODOY, L. H. et al. Potencial Geoparque de Uberaba (MG): geodiversidade e geoconservação. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 395 - 410, 2013.

GRISOTTO, L. E. G. et al. Geoestatística e avaliação multicriterial no processo de planejamento e desenvolvimento local e regional do estado de São Paulo. In: CONGRESSO PLURIS 2012 – Reabilitar o Urbano, 6, 2012, Paranoá. **Anais [...]** Paranoá, 2012.

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. **Pagamento por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: Lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, 2011.

GUEDES, I. C. et al. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Inácio(SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. **Revista UNG - Geociências**, v. 5, n. 1, 75 - 102, 2006.

IBASE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ANÁLISES SOCIAIS E ECONÔMICAS. Água – Bem público em unidades de conservação. 2006. Disponível em: <http://www.ibase.br>. Acesso em: 10 jan. 2017.

JALES, L. F.; SILVA, L. G. N. V. da; VASCONCELOS, F. M. Análise multicritério para definição de áreas prioritárias para implantação de projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no município de Brumadinho, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Foz do Iguaçu, PR., 16, **Anais [...]** Foz do Iguaçu: INPE: 13 a 18 de abr. 2013, p. 4624 - 4631.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 353 - 360, 2015.

JODAS, N. Pagamento por serviços ambientais (PSA) como ferramenta efetiva à aplicabilidade do Código Florestal brasileiro: uma proposta combativa ao projeto de lei nº. 1876/99. Relatos da experiência pioneira de PSA no município de Londrina-PR. **Revista de Direito Público**, Londrina, v. 5, n. 3, p. 66 - 80, dez., 2010.

JOHNSON, L. B. et al. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 193 - 208, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.d01-539.x>. Acesso em: 22 out. 2015.

JOHNSON, N. **Biodiversity in the balance**: approaches to setting geographic conservation principles. Washington: [s.n.], 1995. 120 p.

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.

LIMA, S. C. et al. Avaliação dos Cerrados de Minas Gerais e indicação de áreas potenciais para a preservação. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 10, n. 19, p. 5 - 44, 1998.

MACEDO, D.; RIBEIRO, A. G. Ecoturismo na Cachoeira da Fumaça (Rio Claro) - Nova Ponte/Uberaba (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 7, p. 63 - 73, Out. 2002.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: Realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 686 p.

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

MARAN, A. Geoconservation in the Balkan region: practices and legal instruments. **Bulletin of the Natural History Museum**, Belgrade, n. 1, p. 41 - 63, 2008.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó**: o perfil longitudinal. 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Análise regional e Ambiental) - Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MARTINS, S. G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 517 - 526, 2010.

MATTOS, R. **Aplicação da contabilidade na gestão dos recursos hídricos**. 2003. 250 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2003.

MATTOS, R. de. **Critérios para a aplicação do Programa Produtor de Água: Estudos de Caso no Alto Rio Grande, MG**. 2009. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras – Lavras: UFLA, 2009.

MCELROY, A. D. et al. **Loading functions for assessment of water pollution from non-point sources**. Washington: US EPA, 1976.

MEDEIROS, R.; YOUNG; C. E. F. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: Relatório Final**. Brasília: UNEP- WCMC, 2011. 120 p.

MELLO, C. R. de et al. Recursos hídricos. In: SCOLFORO, J. R. et al. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. Capítulo 5, p. 103 - 136.

MELLO, C. R. de et al. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v. 202 - 203, p. 88 - 102, 2013.

MELLO, K. de; TOPPA, R. H.; CARDOSO-LEITE, E. Priority areas for forest conservation in an urban landscape at the transition between Atlantic Forest and Cerrado. **CERNE**, v. 22, n. 3, p. 277 - 288, 2016.

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas. In: KAGEYAMA, P. Y. et al. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: Fepaf, 2003. p. 49 - 76.

MIARA, M. A; FIORI, C. O. Proposta de modelo metodológico para identificação de áreas potenciais a conservação – um estudo de caso: entorno do Parque Nacional dos Campos Gerais – PR. **RA e GA**, Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR, v. 25 p. 305 - 342, 2012.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Modeling erosion and deposition: Topographic effects. **Transactions of the America, Science Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1624 - 1640, 1986.

MORAES, W. V. et al. Zoneamento do distrito de Rancharia, município de Lima Duarte, MG, entorno do Parque Estadual da Serra do Ibitipoca, com fins de manejo do ecoturismo. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 751 - 758, 2008.

MORETI, D. et al. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manoel (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, n. 4, p. 713 - 726, 2003.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853 - 858, 2000.

NAIME, U. J. et al. **Avaliação da aptidão agrícola das terras da Zona Campos das Vertentes – MG**. 1. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 58 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 91).

NARDINI, R. C. et al. Determinação do conflito de uso da terra nas APPs da rede hidrográfica da microbacia do Ribeirão Água-Fria, Bofete (SP). **Revista Agrarian**, Dourados, v. 7, n. 24, p. 271 - 279, 2014. ISSN: 1984 - 2538.

NUSDEO, A. M. **Pagamento por serviços ambientais: sustentabilidade e disciplina jurídica**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 179 p.

OLIVEIRA P. S.; MARQUIS R. J. Introduction: Development of Research in the Cerrados. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds). **The Cerrados of Brazil**. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna. Columbia University Press, New York, 2002. p. 1 - 12.

OLIVEIRA, F. B. de et al. Definição de Áreas Prioritárias ao Uso Público no Parque Estadual da Cachoeira da Fumaça - ES, Utilizando Geoprocessamento. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 38, n. 6, p. 1027 - 1036, 2014.

OLIVEIRA, F. S. et al. Identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente no entorno do Parque Nacional do Caparaó, estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 899 - 908, 2008.

PAES, F. da S. et al. Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita Do Sapucaí (MG). **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 29, n. 4, p. 589 - 601, 2010.

PAGIOLA, S.; BISHOP, J.; LANDER-MILLS, N. **Mercados para serviços ecossistêmicos: instrumentos econômicos para conservação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: REBRAF, 2005.

PAULA JUNIOR, D. R. de; POMPERMAYER, R. S. Indicadores de sustentabilidade para análise comparativa de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 6, abril, 2007.

PEDRON, F. de A. et al. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 105 - 112, 2006. ISSN 0103-8478.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3 Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65 p.

REIS, L. V. de S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público**: caso do manancial do município de Piracicaba. 2004. 215 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

REZENDE; J. H.; PIRES; J. S. R.; VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T. Áreas Prioritárias para Reserva Legal na Bacia Hidrográfica do Rio Jaú. **HOLOS Environment**, v. 11, n. 1, p. 16 - 30, 2011.

RHODES, A. L.; NEWTON, T. M.; PUFALL, A. Influences of land use on water quality of a diverse New England watershed. **Environmental Science and Technology**, v. 35. p. 3640 - 3645, 2001.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. da G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: [s.n.], 2007. p. 3039 - 3046.

ROCHA, A. C. da. Bacias em conflito pelo uso da água em Minas Gerais. In: DI MAURO, C. A; ROSOLEN, V; FERREIRA, V. de O. (Org). **Planejamento e gestão dos Recursos Hídricos: exemplos mineiros**. Uberlândia-MG: Assis Editora, 2012. p. 452

ROCHA, L. et al. Importância de Unidades de Conservação na preservação da diversidade de macroinvertebrados bentônicos na bacia do Rio das Velhas(MG). In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7, 2005, Caxambu. **Anais [...]** Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil. 2005. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/resumos/388a.pdf>. Acesso em: 22 out. 2017.

ROSA, F. S. et al. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa de pagamento por serviços ambientais relacionados à água. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 526 - 539, 2014.

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

SAATY, T. L. **Analytical Hierarchy Process**: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p. 9 - 26, 1990.

SALAMUNI, E. et al. Knickpoint Finder: ferramenta para a busca de geossítios de relevante interesse para o geoturismo. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 70, p. 200 - 208, 2013.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. Mapeamento das Classes de Uso e cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da UNIESP - Saber Acadêmico**, v. 10, p. 57 - 67, 2010.

SANTOS, V. de O.; NISHIYAMA, L. Tendências hidrológicas no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, em Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 17, n. 58, p. 196 - 212, 2016.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SARTORI, A. A. C.; ZIMBACK, C. R. L. Recomposição florestal visando à conservação de recursos hídricos na bacia do Rio Pardo, SP. **Revista de Energia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 43 - 53, 2011.

SARTORI, A. A. da C. et al. Restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos por meio da combinação linear ponderada. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 1, p. 201 - 212, 2012.

SARTORI, A. A. da C.; SILVA, R. F. B. da; ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, n. 6, p. 1079 - 1090, 2012.

SCOLFORO, J. R. et al. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2008. 161 p.

SILVA, A. M. da; VIEIRA, W. A. **Análise do plano diretor da bacia hidrográfica do rio Araguari – MG.** Trabalho apresentado a disciplina Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2011.

SILVA, R. N. E. et al. Uso do índice RDE para determinação de anomalias de drenagem no Rio Capibaribe (PE). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 552 – 565, 2016.

SILVA, V. A. **Mapa de solo, conhecimento de campo, inventário florestal e zoneamento ecológico-econômico como base para a aptidão agrícola das terras em Minas Gerais, elaborada em SIG.** 2014. 100 p. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOARES, A. M. **A bacia do Rio Claro: reflexos da ocupação antrópica.** 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363 - 364, 2014. ISSN 0036-8075.

SOUSA, J. S. de. **Áreas de preservação permanente urbanas: mapeamento, diagnósticos, índices de qualidade ambiental e influência no escoamento superficial: estudo de caso: Bacia do Córrego das Lajes, Uberaba/MG.** 2008. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SOUSA, J. S. de et al. Evolução do conflito de uso do solo nas APPs da rede de drenagem da Bacia Desemboque, em Minas Gerais – Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ÁGUAS, SOLOS E GEOTECNOLOGIAS, 1, SASGEO, 2015, Uberaba. **Anais[...]**. Uberaba, 2015.

SOUZA, A. R. de. Outorgas Superficiais na bacia do Rio Claro, Minas Gerais – Brasil. In: DI MAURO, C.A; ROSOLEN, V; FERREIRA, V. de O. (Org). **Planejamento e gestão dos Recursos Hídricos: exemplos mineiros.** Uberlândia-MG: Assis Editora, 2012. 452 p.

SOUZA, R. H. de P. **Pagamento por serviços ambientais (PSA) nas terras altas da Mantiqueira.** 2013. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SOUZA; C. M. de. **Definição de áreas prioritárias para recuperação na bacia do Rio Grande, através da análise multicritério, em ambiente SIG.** 2015. 46 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2015.

THE CATSKILL CENTER. **New York City's Need for Water – The Watershed Agreement.** 2004. Disponível em: catskillcenter.org/programs/csp/H20/Lesson4/lesson4.htm. Acesso em: 16 jun. 2013.

TOLEDO, P. E. N. **Cobrança do uso da água e pagamento de serviços ambientais.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2005.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica.** Brasília: MMA, 2006. 302 p.

VALENTE, R. de O. A.; VETTORAZZI, C. A. Definition of priority areas for forest conservation through the ordered weighted averaging method. **Forest Ecology and Management**, v. 256, 1408 – 1417, 2008.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria evaluation in the definition of priority areas for forest restoration, aiming at the sustainable water management. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (org.) **Sustainable water management in the tropics and subtropics and case studies in Brazil.** Jaguarão: Fundação Universidade Federal do Pampa, 2011. v. 1, p. 377 - 406.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 55 - 64, 2010.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos.** 2006. 151 f. Tese (Livre Docência na Especialidade/Disciplina Topografia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

WUNDER, S. et al. **Pagamentos por Serviços ambientais: perspectivas para a Amazônia legal.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

WWF - WORLD WILDLIFE FUND. **Payments for environmental services: an equitable approach for reducing poverty and conserving nature.** 2006. 20 p.

YOUNG, C. E. **Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil e nos Andes Tropicais.** In: CONFERÊNCIA KATOOMBA, São Paulo, out., 2006.

Os autores

Joyce Silvestre de Sousa

Possui graduação em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro e Licenciatura Plena em Ciências Biológicas . É especialista em Georreferenciamento de Imóveis Rurais pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro, possuindo mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia e doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras . Os resultados de sua tese forneceram embasamento técnico para a criação da lei de proteção ambiental do Rio Claro (Lei nº 1966/2021 do Município de Nova Ponte – MG). Atualmente é docente do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba. Foi coordenadora dos cursos de Pós Graduação da Área Ambiental do IFTM - Campus Uberaba de 2018 à 2020. Auxiliou no processo de criação do Setor de Sustentabilidade do IFTM, atuando no mesmo de 2021 à 2023.



Gilberto Coelho

Possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal de Lavras lotado no Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. Exerceu a funções de Subchefe do Departamento de Engenharia de 2012 a 2018, chefe do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento de 2018 a 2020, de coordenador adjunto do Programa de Pós Graduação Recursos Hídricos de 2012 a 2015 e de coordenador do Programa de Pós Graduação Recursos Hídricos de 2015 a 2018, é coordenador da Empresa Júnior de Engenharia Agrícola e membro da diretoria do Comitê Estadual de Recursos Hídricos Afluentes do Rio Grande - UPGRH GD1.



editora
IFTM



**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Triângulo Mineiro