

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

GUILHERME DAVID DANTAS

**CADASTRO AMBIENTAL RURAL E RESERVA LEGAL: avaliação e aplicações dos
dados espaciais do SICAR**

Uberlândia

2020

GUILHERME DAVID DANTAS

**CADASTRO AMBIENTAL RURAL E RESERVA LEGAL: avaliação e aplicações dos
dados espaciais do SICAR**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de concentração: Geografia e Gestão do Território

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rosa

Uberlândia

2020

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D192 Dantas, Guilherme David, 1983-
2020 Cadastro Ambiental Rural e Reserva Legal: [recurso eletrônico] :
avaliação e aplicações dos dados espaciais do SICAR / Guilherme
David Dantas. - 2020.

Orientador: Roberto Rosa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.438>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Rosa, Roberto, 1960-, (Orient.). II. Universidade
Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br


ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, Número 497, PPGGEO				
Data:	06 de maio de 2020	Hora de início:	08h:30m	Hora de encerramento:	12:00m
Matrícula do Discente:	Matrícula: 11812GEO007				
Nome do Discente:	GUILHERME DAVID DANTAS				
Título do Trabalho:	CADASTRO AMBIENTAL RURAL E RESERVA LEGAL: avaliação e aplicações dos dados espaciais do SICAR				
Área de concentração:	GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO				
Linha de pesquisa:	Análise, Planejamento e Gestão Ambiental/Geoprocessamento				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala [Via Skype], Campus (Via Skype), da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Arcênio Meneses da Silva, IFTM-MG; Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG-UFU; e Roberto Rosa - IG-UFU orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Roberto Rosa - IG-UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. Todos os Professores participaram via Skype em função do COVID-19

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Rosa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 06/05/2020, às 11:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério**



Superior, em 07/05/2020, às 09:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Arcênio Meneses da Silva, Usuário Externo**, em 08/05/2020, às 20:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2023139** e o código CRC **28E49466**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais Marcio e Najla e aos meus irmãos Alexandre e Jaísa, por acreditarem e confiarem no caminho que tenho traçado em minha vida. Em especial, dedico à minha esposa, Alexandra E. Sato, por estar sempre ao meu lado, mesmo em momentos difíceis. O incentivo e o apoio dela foram fundamentais para me manter focado, tornando a conclusão deste trabalho possível.

Minha decisão e iniciativa em retomar os estudos após 10 anos desde a conclusão da graduação somente ocorreu pela amizade com o professor Luiz Antônio Oliveira, que me abriu as portas e me encorajou a ingressar no programa da pós-graduação. Agradeço-lhe imensamente pela amizade e por ter proporcionado esta oportunidade.

Agradeço ao professor e orientador Roberto Rosa, pela disponibilidade em me aceitar como orientando, pelas orientações transmitidas que nortearam os rumos desta pesquisa e, principalmente, pela compreensão sobre as dificuldades e atrasos que vivenciei neste período.

Agradeço ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU), aos coordenadores, professores, técnicos de laboratório e funcionários. Além de terem me conduzido à formação profissional atual e terem me proporcionado grandes experiências durante o curso de graduação, me permitiram vivenciar um novo período de aprendizado e evolução na pós-graduação.

Aos professores Luiz, Vanderley, Guilherme, Claudionor e Jorge, com os quais tive a oportunidade de cursar as disciplinas do programa. Nelas aprendi e me atualizei significativamente em relação à área da Geografia Física.

Às amigas que construí ao longo do curso, às pessoas que conheci durante as aulas, trabalhos de campo, viagens acadêmicas, cursos de extensão e palestras. Aos companheiros e companheiras que me auxiliaram e orientaram em diversos momentos de dúvidas e incertezas.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho da Geodésia Ambiental Ltda., que vivenciaram todas as dificuldades que passei em conciliar trabalho e estudo, e por sempre me apoiarem nesta jornada.

Agradeço aos professores Vanderlei de Oliveira Ferreira e Arcênio Meneses da Silva, que aceitaram participar da banca de defesa de dissertação, ao disponibilizarem tempo e conhecimentos para avaliar meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e conhecidos que sempre acreditaram no meu trabalho. E a todos os setores que acreditam na importância da universidade pública gratuita como um direito de todos e enxergam a educação como um investimento para a sociedade.

“O método científico é comprovado e verdadeiro. Não é perfeito, é apenas o melhor que temos. Abandoná-lo, junto com seus protocolos céticos, é o caminho para uma idade das trevas”.

Carl Sagan

RESUMO

O atual Código Florestal Brasileiro (CFB), instituído pela Lei n. 12.651 (BRASIL, 2012b), é um instrumento jurídico no qual a Reserva Legal (RL) aparece como um importante mecanismo no contexto da preservação dos remanescentes de vegetação nativa. Uma das inovações dessa lei consistiu na implementação de um sistema eletrônico de âmbito nacional, destinado ao gerenciamento de informações ambientais dos imóveis rurais, denominado Cadastro Ambiental Rural (CAR). Este, por sua vez, disponibiliza publicamente dados espaciais dos imóveis rurais cadastrados no sistema e permite seus usos para análises diversas. O presente estudo teve como objetivo verificar as informações de cobertura vegetal nativa e de RL declaradas no CAR, de modo a avaliar a eficiência do sistema e utilizar Métricas da Paisagem para caracterizar a distribuição espacial dessas áreas, ao considerar os potenciais de recuperação. A bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho, localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, Brasil, compôs o recorte espacial de análise dos dados nesta pesquisa. Os procedimentos operacionais consistiram em técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) para organização, tratamento e avaliação dos dados espaciais, além de programas específicos para o cálculo das Métricas da Paisagem sobre os resultados obtidos. Constatou-se que, em julho de 2018, a respectiva bacia apresentou 90% de sua área preenchida por cadastrados de imóveis rurais, com uma taxa de sobreposição de 2,7% entre os respectivos cadastros; já as RLs obtiveram um índice de sobreposição de 1,0%. Em relação aos dados declarados de cobertura do solo, houve omissão de informações em 11,9% da área total nos cadastros. No que tange à veracidade das informações declaradas de cobertura de vegetação nativa, 8% da área total declarada era composta de dados não verdadeiros e 12% se referem a áreas sem informação. Nas RLs, 20% da área declarada se mostraram não verdadeiros e 10% sem informação, o que representa 30% da área total declarada. A principal constatação obtida por meio dos resultados das Métricas da Paisagem indicou que a recuperação da vegetação sobre as RLs e Áreas de Preservação Permanente (APP) localizadas em áreas consolidadas implicaria um crescimento de 23% sobre os atuais remanescentes de vegetação nativa. O tamanho médio dos fragmentos de vegetação nativa aumentaria em 77%, e a distância média dos fragmentos seria reduzida em 17%. Apesar da incoerência nos dados em determinada parte do CAR, ele trouxe grandes vantagens na disponibilidade de informações de cobertura do solo dos imóveis rurais, de maneira organizada e integrada. Os recursos de SIG e as imagens orbitais aplicados sobre os dados espaciais do CAR proporcionaram parâmetros de qualidade e veracidade das informações, o que permite avaliar a eficiência do sistema. Vale ressaltar que as Métricas da Paisagem se mostraram eficazes como ferramenta de exploração desses dados, com a comparação de cenários atuais e futuros sobre as RLs e as demais remanescentes de vegetação nativa.

Palavras-chave: Código Florestal. Reserva Legal. Cadastro Ambiental Rural. Sensoriamento Remoto. Sistemas de Informações Geográficas. Métricas da Paisagem.

ABSTRACT

The current Brazilian Forest Code (CFB, in Portuguese abbreviation), instituted by the Law no. 12,651 (BRAZIL, 2012), is a legal instrument in which the Legal Reserve (LR) appears as an important mechanism in the context of preserving the remnants of native vegetation. One of the innovations of this law was the implementation of a nationwide electronic system for the management of environmental information on rural properties, called Rural Environmental Registry (CAR, in Portuguese abbreviation). This one makes publicizes spatial data of rural properties registered in the system and allows their uses for various analyzes. The present study aimed to verify and evaluate the information of native vegetation cover and of LR declared in CAR, in order to evaluate the efficiency of the system and to use Landscape Metrics to characterize the spatial distribution of these areas, considering the recovery potentials. The Ribeirão Douradinho watershed, located in the mesoregion of Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba, in Minas Gerais, Brazil, comprised the spatial analysis of the data in this research. The operational procedures consisted the Remote Sensing (RS) techniques and Geographic Information Systems (GIS) for organizing, processing and evaluating spatial data, in addition to specific programs for calculating Landscape Metrics on the obtained results. It was found that, in July 2018, the respective basin had 90% of its area filled by registered rural properties, with an overlap rate of 2.7% between the respective registrations; the LRs, on the other hand, obtained an overlap index of 1.0%. In relation to the declared data on land cover, information was omitted in 11.9% of the total area in the registers. Regarding the veracity of the declared information on native vegetation cover, 8% of the total declared area was composed of non-true data and 12% are related to areas without information. In the LRs, 20% of the declared area proved to be untrue and 10% without information, which represents 30% of the total declared area. The main observation obtained through the results of Landscape Metrics indicated that the recovery of vegetation on the LRs and Permanent Preservation Areas (APP, in Portuguese abbreviation) located in consolidated areas would imply a 23% growth over the current remnants of native vegetation. The average size of fragments of native vegetation would increase in 77%, and the average distance of fragments would be reduced in 17%. Despite the inconsistency in the data of a certain part of CAR, it brought great advantages in the availability of land cover information of rural properties in an organized and integrated way. The GIS resources and the orbital images on the CAR spatial data provided parameters of quality and veracity of the information, which allows to evaluate the efficiency of the system. It is worth mentioning that Landscape Metrics proved to be effective as a tool for exploring these data, with the comparison of current and future scenarios about the LRs and the remnants of native vegetation.

Keywords: Forest Code. Legal Reserve. Rural Environmental Registry. Remote Sensing. Geographic Information Systems. Landscape Metrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo	23
Figura 2 – Mata ciliar e de galeria na bacia do Ribeirão Douradinho.....	25
Figura 3 – Fitofisionomia de cerradão na bacia do Ribeirão Douradinho	26
Figura 4 – Fitofisionomia de cerrado <i>stricto sensu</i> na bacia do Ribeirão Douradinho	26
Figura 5 – Fitofisionomia de vereda na bacia do Ribeirão Douradinho.....	27
Figura 6 – Dados do projeto TerraClass Cerrado 2013 na bacia do Ribeirão Douradinho.....	28
Figura 7 – Fluxograma das etapas de inscrição no SICAR.....	43
Figura 8 – Fluxograma do cruzamento das camadas de áreas protegidas no SICAR	44
Figura 9 – Interface em ambiente SIG do Módulo de Cadastro, com destaque aos polígonos do imóvel sobre a imagem Rapideye.....	45
Figura 10 – Amostra comparativa das imagens do sensor PAN do satélite CBERS4	48
Figura 11 – Mapa índice dos documentos cartográficos utilizados	57
Figura 12 – Fluxograma da estrutura metodológica.....	59
Figura 13 – Recorte de uma cena do sensor PAN10M, do satélite CBERS4	60
Figura 14 – Categorização dos arquivos vetoriais do CAR, referentes ao município de Uberlândia/MG.....	62
Figura 15 – Exemplo de sobreposição de polígonos cadastrados apresentados pelo arquivo <i>shapefile</i> do município de Uberlândia/MG	63
Figura 16 – Exemplo de unificação de polígonos de RL sobrepostos ou contíguos.....	64
Figura 17 – Identificação da vegetação nativa no interior da RL	69
Figura 18 – Perfil esquemático das camadas de informações na montagem dos cenários comparativos.....	76
Figura 19 – Identificação da vegetação nativa no interior da RL	77
Figura 20 – Mapa de distribuição e sobreposição das RLs	80
Figura 21 – Mapa da proporção de cobertura do solo cadastrada na bacia.....	81
Figura 22 – Mapa de tipologias de RLs declaradas.....	82
Figura 23 – Mapa das áreas legalmente protegidas na bacia (RLs e APPs declaradas).....	83
Figura 24 – Mapa de identificação dos FVNs na bacia.....	85
Figura 25 – Mapa diagnóstico das áreas de RL.....	86
Figura 26 – Mapa diagnóstico das áreas de vegetação nativa cadastradas.....	87
Figura 27 – Mapa diagnóstico das áreas de RL cadastradas	89

Figura 28 – Comparação dos limites de fragmentos obtidos por arquivos vetoriais e <i>raster</i> .	91
Figura 29 – Mapa comparativo dos maiores FVNs nos Cenários 1 e 2	93
Figura 30 – Mapa comparativo dos maiores fragmentos de áreas protegidas nos Cenários 1 e 2	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo entre polígonos de RL inalterados e após a unificação	64
Gráfico 2 – Análise quantitativa dos polígonos originais de RL cadastrados na área de estudo 65	
Gráfico 3 – Análise quantitativa dos polígonos unificados de RL na área de estudo	65
Gráfico 4 – Distribuição dos cadastros quanto à área do imóvel	79
Gráfico 5 – Distribuição das áreas protegidas de RLs e APPs na bacia.....	84
Gráfico 6 – Proporção da veracidade das áreas de vegetação nativa declaradas.....	88
Gráfico 7 – Proporção da veracidade das áreas de RL declaradas	89
Gráfico 8 – Distribuição de frequência das distâncias do vizinho mais próximo entre FVNs.....	94
Gráfico 9 – Distribuição de frequência das distâncias do vizinho mais próximo entre fragmentos formados por RLs e APPs	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros da câmera PAN do satélite CBERS4.....	47
Quadro 2 – Parâmetros das imagens do satélite CBERS4	55
Quadro 3 – Parâmetros dos dados SRTM	56
Quadro 4 – Relação de cartas topográficas na bacia do Ribeirão Douradinho	56
Quadro 5 – Chave de interpretação das imagens CBERS4.....	68
Quadro 6 – Organização dos arquivos vetoriais	72
Quadro 7 – Organização dos polígonos criados.....	72
Quadro 8 – Classes criadas a partir do comparativo dos dados do SICAR com dados do levantamento.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo de área ocupada por diferentes classes de cobertura vegetal no bioma cerrado, obtido pelo TerraClass.....	33
Tabela 2 – Números do CAR	42
Tabela 3 – Matriz de confusão para o cálculo do coeficiente de concordância de Kappa	71
Tabela 4 – Resultado do comparativo n. 1	92
Tabela 5 – Resultado do comparativo n. 2	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Academia Brasileira de Ciências
APP	Área de Preservação Permanente
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBERS	<i>China-Brazil Earth-Resources Satellite</i>
CFB	Código Florestal Brasileiro
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CRA	Cota de Reserva Ambiental
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico
FVN	Fragmento de Vegetação Nativa
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IG	Instituto de Geografia
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRS	Imageador Multiespectral e Termal
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural
LCA	Lei de Crimes Ambientais
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Megapixels
MUX	Câmera Multiespectral Regular
PAN	Câmera Pancromática e Multiespectral
PDI	Processamento Digital de Imagens
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PRODES	Programa de Monitoramento do Desmatamento
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RL	Reserva Legal

SBPC	Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SICAR	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UC	Unidade de Conservação
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WFI	Câmara de Campo Largo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo geral	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
1.2 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
1.3 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA NA ÁREA DE ESTUDO	24
2 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL BÁSICO	30
2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE ESPACIAL DE ANÁLISE.....	30
2.2 A IMPORTÂNCIA DOS FRAGMENTOS DE RESERVA LEGAL NO IMÓVEL RURAL E NA PAISAGEM REGIONAL	31
2.3 CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO E RESERVA LEGAL.....	34
2.4 O CADASTRO AMBIENTAL RURAL.....	40
2.5 SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS COMO FERRAMENTAS DE ANÁLISE	46
2.5.1 O satélite CBERS4 e sua aplicação no mapeamento da vegetação.....	46
2.5.2 Aplicação dos sistemas de informações geográficas no tratamento e análise dos dados	49
2.6 MÉTRICAS DA PAISAGEM COMO METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	51
3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	55
3.1 MATERIAIS	55
3.1.1 Documentos cartográficos	55
3.1.2 Equipamentos e programas.....	57
3.2 PROCEDIMENTOS.....	58
3.2.1 Aquisição de base cartográfica e delimitação da área de estudo.....	59
3.2.2 Aquisição, processamento e manipulação das imagens do satélite CBERS4	60
3.2.3 Aquisição, processamento e manipulação dos dados SRTM	61
3.2.4 Aquisição e manipulação dos dados vetoriais do CAR.....	61
3.2.5 Montagem de um ambiente SIG	66
3.2.6 Fotointerpretação e vetorização manual dos FVNs.....	67
3.2.7 Validação dos dados e pesquisa de campo	70
3.2.8 Análise espacial, quantificação e Métricas das Paisagens.....	71

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
4.1 QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS DADOS DO CAR	77
4.2 VERIFICAÇÃO DA VERACIDADE DOS DADOS DO CAR.....	85
4.3 APLICAÇÃO DAS MÉTRICAS DA PAISAGEM SOBRE OS RESULTADOS.....	90
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
REFERÊNCIAS	102

1 INTRODUÇÃO

A importância dos Fragmentos de Vegetação Nativa (FVNs) na paisagem é fundamentada por diversos estudos. Ela se consolida na legislação ambiental brasileira por meio das Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais (RLs) e Unidades de Conservação (UCs), sendo um tema bastante discutido nesse contexto.

Com a expansão da ocupação populacional no Brasil desde o início do século XX, assim como das atividades econômicas no meio rural (com destaque à agricultura, pecuária e mineração) intensificada a partir da década de 1970, impactos ambientais decorrentes desse processo resultaram em significativa redução das áreas de vegetação nativa no país. Um dos instrumentos jurídicos que garante a manutenção dessas áreas é o Código Florestal Brasileiro (CFB), implementado pela Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012b), que instituiu restrições ao uso da terra nos imóveis rurais, de modo a garantir uma porcentagem mínima de cobertura por vegetação nativa.

Nesse cenário, a RL se apresenta como um mecanismo legal do CFB (BRASIL, 2012b) em relação a demandas socioambientais, com a finalidade de conservar e reabilitar os processos ecológicos e a biodiversidade; servir de abrigo e proteção a plantas e animais; e gerar renda ao proprietário rural por meio da exploração econômica. Além da questão biológica e dos serviços ecossistêmicos, pequenos FVNs mantidos como RLs são essenciais para diminuir o isolamento dos poucos fragmentos maiores, ao funcionarem como “trampolins ecológicos” no deslocamento das espécies pela paisagem. Sem esses fragmentos, os fluxos biológicos seriam bastante prejudicados, o que aceleraria ainda mais o processo de extinção (SBPC; ABC, 2012).

A Lei n. 12.651 (BRASIL, 2012b), que contempla o CFB atual, substituiu a Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965 (antigo Código Florestal) (BRASIL, 1965). Ela passou a estabelecer novos critérios referentes à instituição da RL para os imóveis rurais no país que, segundo o Art. 3º, parágrafo III da referida lei:

[...] área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012b).

Crêterios para institui o da RL nos imóveis rurais estão estabelecidos no Art. 12 , da Lei n. 12.651 (BRASIL, 2012b), com defini o do percentual mínimo de cobertura vegetal nativa a ser mantido no imóvel:

Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegeta o nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplica o das normas sobre as áreas de Preserva o Permanente, observados os seguintes percentuais mínimos em rela o   área do imóvel [...] localizado nas demais regiões do País: 20% (vinte por cento).

Portanto, com exce o da Amazônia Legal, todos os imóveis rurais devem manter uma área de cobertura vegetal nativa com percentual mínimo de 20% em rela o   área do imóvel. Antes da implanta o do CFB (BRASIL, 2012b), o procedimento legal para o cumprimento dessa exigência era a montagem de processo administrativo junto ao órgão ambiental estadual e ao cartório de registro de imóveis, que se concluía por meio de uma averba o junto   certidão imobiliária do imóvel contendo a caracteriza o cartográfica da área destinada   RL.

Tal processo administrativo se resumia em reunir diversos documentos cadastrais do imóvel e do proprietário, juntamente com o fornecimento de planta georreferenciada com a devida localiza o e descri o da RL que, por sua vez, era submetida   vistoria e aprova o pelo órgão ambiental estadual. A averba o junto   certidão imobiliária do imóvel teria basicamente a fun o de garantir a publicidade da informa o.

Com a implementa o do novo CFB, o processo administrativo foi substituído pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR), como pode ser observado no art. 18: “o registro da Reserva Legal no CAR desobriga a averba o no Cartório de Registro de Imóveis” (BRASIL, 2012b). O CAR   definido pelo art. 29, *in verbis*:

  criado o Cadastro Ambiental Rural – CAR, no âmbito do Sistema Nacional de Informa o sobre Meio Ambiente – SINIMA, registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informa es ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (BRASIL, 2012b).

Nesse contexto, o CAR   realizado por meio de um sistema eletrônico de âmbito nacional destinado ao gerenciamento de informa es ambientais dos imóveis rurais, denominado como Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Essa ferramenta de cadastramento das informa es ambientais dos imóveis rurais, em um primeiro momento, torna a regulariza o ambiental mais ágil e menos burocrática, visto que substitui a necessidade de montar um processo administrativo para a averba o da RL. Assim, o CAR promove

publicidade à informação, que até anteriormente ocorria por meio de averbação das informações da RL junto à certidão imobiliária do imóvel no cartório de registro de imóveis.

A inscrição de um imóvel rural no sistema é realizada com o preenchimento de formulário eletrônico disponível em programa específico do SICAR. Nele, além das informações cadastrais de proprietário e imóvel, é disponibilizado o carregamento (*upload*) polígonos georreferenciados que representam as informações ambientais do imóvel – APPs, áreas de servidão administrativa, áreas rurais consolidadas, recursos hídricos e área destinada à RL.

Contudo, o simples cadastramento das informações ambientais de um imóvel rural no SICAR não garante a veracidade dos dados e a existência fática da RL, no sentido da presença de cobertura vegetal nativa em conformidade às exigências do CFB (BRASIL, 2012b). Na atual fase de implementação do sistema, não há controle, fiscalização ou conferência, por parte do órgão ambiental, em relação à veracidade das informações declaradas.

O CAR se configura como um ato declaratório do proprietário ou posseiro. Ou seja, limita-se ao cadastramento das informações ambientais do imóvel sem análise ou aprovação do órgão ambiental. Com vistas ao cumprimento da legislação ambiental, mais especificamente da instituição da RL, o simples cadastramento de uma informação georreferenciada no sistema não assegura o cumprimento de requisitos como a existência de cobertura vegetal nativa e de aspectos relacionados à localização da RL, a exemplo da proximidade com outras áreas de vegetação nativa, relevância ecológica, fragilidade ambiental ou planos de bacias hidrográficas, conforme o art. 14 do CFB (BRASIL, 2012b).

Diante disso, criam-se indagações que passam a ser relevantes no processo de regularização ambiental de imóveis e posses rurais, em face à legislação ambiental vigente: o CAR é eficaz no fornecimento das informações ambientais dos imóveis rurais e no cumprimento da legislação ambiental? Os dados de cobertura do solo declarados no CAR são compatíveis com a situação real dos imóveis rurais? Essas informações são confiáveis para ser utilizadas em outras análises? Quais metodologias e ferramentas podem ser aplicadas de maneira assertiva para verificar os dados cadastrados? Como os dados espaciais do CAR podem ser aproveitados em estudos ambientais?

Na contraposição das informações espaciais de cobertura do solo e as das RLs declaradas (dados georreferenciados do CAR) com a condição real (estado de preservação), pode-se identificar discrepâncias que, ao serem numeradas e caracterizadas, permitem investigar aspectos importantes como o nível de confiabilidade das informações, a

quantificação de áreas irregulares quanto à legislação ambiental e a capacidade de cumprimento da função legal prevista no CFB (BRASIL, 2012b).

Outro aspecto a ser analisado é a associação das conexões espaciais das RLs aos FVNs existentes, para avaliar a contribuição ambiental real das RLs, visto que sua proporção frente ao quantitativo global de áreas nativas se relaciona à função ambiental da manutenção de corredores ecológicos, o que evita o isolamento de espécies; e as conexões com as APPs (com ou sem presença de vegetação nativa), com a intenção de mensurar o quantitativo das áreas legalmente protegidas, em que se consideram tanto as áreas providas de vegetação nativa quanto as que precisam ser recuperadas.

Nesse sentido, há a necessidade de avaliar como as delimitações dos FVNs e das áreas legalmente protegidas (RLs e APPs) se distribuem na configuração espacial, o que pode evidenciar diferenciações em atributos espaciais como dimensão, dispersão, fragmentação, forma de ocupação, proporção no tocante à paisagem, dentre outros. De fato, a contribuição ambiental dessas áreas, avaliada em função de características espaciais, pode variar de maneira significativa entre regiões.

Evidentemente, a mensuração, a análise e a interpretação dos padrões espaciais dos FVNs e das áreas legalmente protegidas se aplicam à área do conhecimento da Ecologia da Paisagem, mais estritamente aos métodos de Métricas da Paisagem, que “medem e descrevem a estrutura espacial das manchas, classes de manchas ou do total da paisagem” (BOTEQUILHA LEITÃO *et al.*, 2006).

Associadas às técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), as Métricas da Paisagem podem fornecer informações relevantes, em se tratando da configuração espacial de tais áreas para um determinado recorte espacial. Por exemplo, é possível analisar e comparar, em dados quantitativos, aspectos da dimensão espacial de um fragmento sob diferentes cenários, seja do quadro atual ou para projeções futuras.

Nesses termos, a presente pesquisa tem como foco diagnosticar as informações espaciais declaradas no CAR, no que diz respeito às áreas de RLs e FVNs para levar a uma avaliação da eficiência do CAR em relação ao cumprimento da legislação; e avaliar a contribuição ambiental dessas áreas em virtude da distribuição espacial, cujos resultados poderão subsidiar o planejamento, o monitoramento e o controle por parte dos órgãos ambientais.

Os procedimentos que nortearam o desenvolvimento desta pesquisa se fundamentam em três etapas: uso de SIG para análise, manipulação e verificação dos dados vetoriais obtidos do SICAR em julho de 2018, com vistas a avaliar a qualidade cartográfica das delimitações dos

imóveis rurais e das RLs, assim como quantificar a ocupação dessas áreas cadastradas sobre a área de estudo, o que atesta a viabilidade do uso destes dados nas etapas seguintes; averiguação dos dados de cobertura de vegetação nativa declarada no CAR, a partir de um levantamento comparativo por SR, de modo a constatar a compatibilidade das informações, com destaque aos fragmentos de RL; e, após verificação da qualidade cartográfica e da veracidade dos dados cadastrados, a terceira e última etapa diz respeito à produção de parâmetros espaciais oriundos das Métricas da Paisagem sobre os dados espaciais de RL e cobertura de vegetação nativa, para gerar informações dos quadros atuais e projetar cenários futuros.

Destaca-se que este estudo se restringe a uma constatação parcial dos dados espaciais do CAR. As APPs declaradas não compuseram o objeto verificação da qualidade e veracidade dos dados, em função de limitações na capacidade operacional de análise dos dados e baixa estimativa de precisão do levantamento por SR. Porém, o uso dos dados espaciais de APP ocorreu para compor os cenários onde foram aplicadas as Métricas da Paisagem. Convém salientar que o levantamento e a análise da cobertura do solo objetivaram apenas distinguir as áreas com presença de vegetação nativa das que estão consolidadas, isto é, sem a presença de vegetação nativa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Esta investigação pretende verificar e avaliar as informações de cobertura vegetal nativa e de RL declaradas no CAR. Desse modo, é possível avaliar a eficiência do sistema, assim como utilizar as Métricas da Paisagem para caracterizar a distribuição espacial dessas áreas, de acordo com os potenciais de recuperação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade cartográfica dos dados espaciais cadastrados no CAR, por meio da quantificação de sobreposições dos cadastros de imóveis e polígonos de RLs.
- Quantificar e espacializar os dados espaciais declarados junto ao CAR, em se tratando das RLs e dos FVNs.

- Realizar um levantamento, por SR, da cobertura vegetal nativa, com ênfase nas áreas de RLs.
- Efetuar uma análise comparativa dos resultados obtidos no objetivo anterior com os respectivos dados declarados no CAR, de modo a quantificar e avaliar a veracidade das informações espaciais das RLs e dos FVNs.
- Analisar a distribuição espacial dos FVNs e das áreas de RL por meio de parâmetros de Métricas da Paisagem, para comparar a situação atual com projeções futuras de recomposição da vegetação.

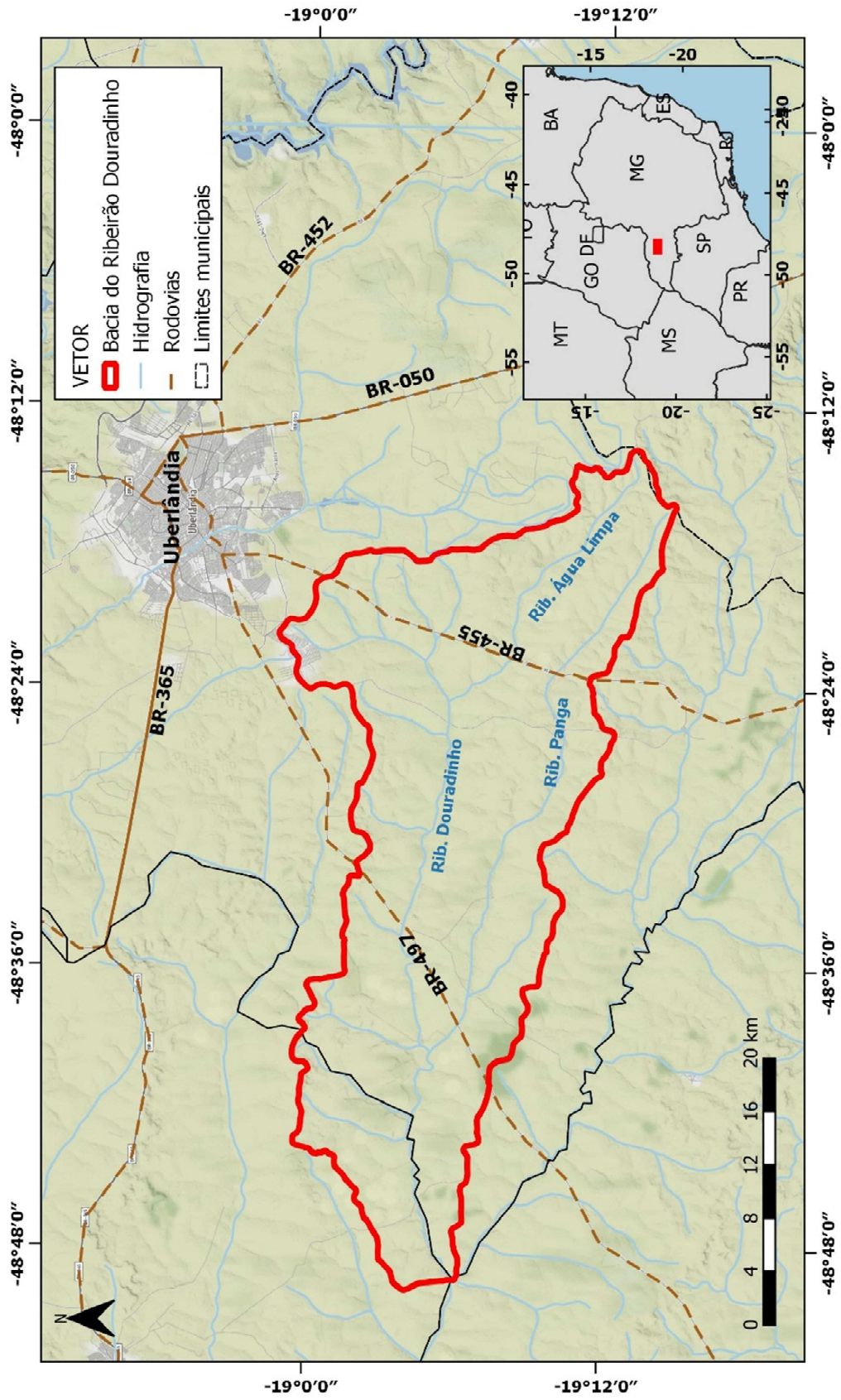
1.2 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Como objeto de estudo desta pesquisa, a bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho, sub-bacia do alto curso do Rio Paraná, localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, é o cenário para análise de diversos aspectos relativos à distribuição espacial das áreas de RL e à qualidade cartográfica das informações do SICAR.

A bacia compreende os municípios de Uberlândia e Monte Alegre de Minas (Figura 1). Ocupa uma área de 921,03 km², entre as coordenadas geográficas de -18°58' e -19°15' de latitude Sul e -48°13' e -48°50' de longitude Oeste de Greenwich. Sua maior porção se localiza em Uberlândia, a sudoeste da sede municipal, em que passam estradas vicinais de importante circulação local e a rodovia BR-467, que interliga Uberlândia e Prata. Possui apenas 0,5% de sua área (4,67 km²) ocupada pelo perímetro urbano de Uberlândia, sendo o restante de uso rural. Predominam-se as atividades de sistemas agrosilvipastoris como pecuária, monoculturas anuais, silvicultura e, de modo pontual, usos do solo menos expressivos, a exemplo das chácaras de recreio e das UCs.

A rede hidrográfica é constituída, sobretudo, pelos Ribeirões Douradinho, Panga e Água Limpa. Sua extensão configura um espaço amostral que abrange um quantitativo estimado de 489 cadastros de imóveis rurais no SICAR (SICAR, 2019).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaboração do autor.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA NA ÁREA DE ESTUDO

Com vistas a alcançar parte dos objetivos desta pesquisa em mensurar a ocorrência de vegetação nativa nas áreas de RL, justificada pela exigência legal do CFB (BRASIL, 2012b), faz-se necessário caracterizar as fitofisionomias da vegetação que representam os remanescentes nativos locais e que se configuram como objeto de levantamento.

Neste estudo, a definição de vegetação nativa para fins de levantamento e mensuração ocorre no âmbito do atendimento aos requisitos estabelecidos pela legislação ambiental. O Decreto n. 7.830 (BRASIL, 2012a), que dispõe sobre o SICAR, determina que a área de remanescente de vegetação nativa possui “vegetação nativa em estágio primário ou secundário avançado de regeneração”. Nesse sentido, consideram-se áreas com vegetação nativa tanto as primárias, ou seja, com fragmentos de vegetação originais que não sofreram impacto significativo da ação antrópica, quanto as que ainda apresentam vegetação original predominante, mas sofrem algum uso antrópico, além das que foram desmatadas no passado, porém se encontram em processo de regeneração avançado.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho é recoberta por vegetação típica do domínio morfoclimático e fitogeográfico do cerrado, com fitofisionomias de formações florestais e savânicas. Ressalta-se que, em seu estado nativo, seja primário ou o que tenha sofrido processo de regeneração, quaisquer formações têm aptidão para constituir áreas de RL em conformidade com o CFB (BRASIL, 2012b). Ribeiro e Walter (1998) caracterizam as formações florestais como tipos de vegetação, com predominância de espécies arbóreas e formação de dossel, cujas fitofisionomias predominantes na bacia são o cerradão e as matas ciliar e de galeria.

Nesses termos, a mata ciliar sempre acompanha os rios cuja largura não permite a formação de galerias, o que geralmente ocorre em terrenos acidentados. As árvores variam de 20 a 25 metros de altura, com espécies típicas predominantemente caducifólias, atribuindo-a um aspecto semidecíduo. É relativamente estreita em ambas as margens, em que há transição, nem sempre evidente, com outras fitofisionomias florestais (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Já as matas ciliar e de galeria (Figura 2) são bastante similares, mas se diferenciam, dentre outros aspectos, pela deciduidade e composição florística. A mata de galeria é perenifólia e se associa aos rios de pequeno porte e córregos, com formações de galerias sobre o curso d'água. Localiza-se nos fundos de vale e nas cabeceiras de drenagem, e quase sempre apresenta

transição brusca com formações savânicas e campestres. A altura média do dossel varia entre 20 e 30 metros (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Figura 2 – Mata de galeria na bacia do Ribeirão Douradinho



Fonte: Elaboração do autor.

Por se localizarem nas faixas marginais dos cursos d'água, ambas as fitofisionomias se associam às APPs que, nesse caso, são expressamente protegidas pelo CFB (BRASIL, 2012b). A ocorrência dessas formações florestais em tais áreas tem sido objeto de alocação de RLs, justificada pela ausência de vegetação nativa nas outras áreas do imóvel rural. O fator de posicionamento dessas formações, que sempre acompanha a rede de drenagem, é bastante relevante no processo de identificação, tanto em estudos de campo quanto em levantamentos por imagens orbitais.

Outra fitofisionomia florestal bastante característica das áreas de RL é o cerradão (Figura 3), que não possui associação com os cursos d'água e ocorre nos interflúvios. Exibe aspecto xeromórfico e semidecíduo, além de ter espécies tanto de cerrado sentido restrito quanto de matas, com altura média de 8 a 15 metros (estrato arbóreo) e dossel predominantemente contínuo. Apresenta-se como uma floresta no aspecto fisionômico, mas, floristicamente, é similar a um cerrado (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Figura 3 – Fitofisionomia de cerradão na bacia do Ribeirão Douradinho



Fonte: Elaboração do autor.

Geralmente, as formações florestais são de fácil identificação, pois a densidade e a continuidade do dossel arbóreo o tornam um elemento marcante na paisagem. Nas imagens orbitais que utilizam a banda espectral do infravermelho próximo, essas formações possuem grande destaque, mas também podem ser confundidas com áreas de silvicultura.

Formações savânicas na bacia do Ribeirão Douradinho compreendem predominantemente as fitofisionomias de cerrado sentido restrito e vereda. O cerrado sentido restrito (Figura 4) possui árvores baixas, inclinadas e tortuosas que formam estratos arbóreo-arbustivos com diferentes densidades: há variações de 5% a 70% para a cobertura arbórea, e de 2 a 8 metros para a altura média do estrato arbóreo. Nesses quesitos, subdivide-se em cerrados denso, típico e ralo. Possui característica xeromórfica e exuberância dos estratos subarbustivos e herbáceos no período das chuvas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Figura 4 – Fitofisionomia de cerrado *stricto sensu* na bacia do Ribeirão Douradinho



Fonte: Elaboração do autor.

Em levantamentos por imagens orbitais, pode-se discriminar esse tipo de formação savânica ao analisar a menor densidade do dossel arbóreo em relação às formações florestais, em virtude da dispersão maior das árvores. Elementos fotointerpretativos de cor e rugosidade das imagens orbitais são relevantes na diferenciação entre o cerrado sentido restrito e o cerradão.

As veredas (Figura 5) são fitofisionomias encontradas em solos hidromórficos, situados em vales ou áreas planas acompanhadas de linhas de drenagem mal definidas. Tem como marca a presença da palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* (buriti), que apresenta altura média de 12 a 15 metros e cobertura de 5% a 10%, sem formar dossel. São circundadas por campo limpo geralmente úmido, pois estão intimamente associadas a afloramentos do lençol freático (RIBEIRO; WALTER, 1998). Também são áreas protegidas pelo CFB (BRASIL, 2012b), ao serem categorizadas como APP, cuja área de proteção compreende uma faixa de 50 metros a partir do espaço brejoso ou encharcado. A posição topográfica próxima às cabeceiras de drenagem e sua coloração diferenciada em função do solo hidromórfico são importantes fatores de identificação para interpretar as imagens orbitais.

Figura 5 – Fitofisionomia de vereda na bacia do Ribeirão Douradinho

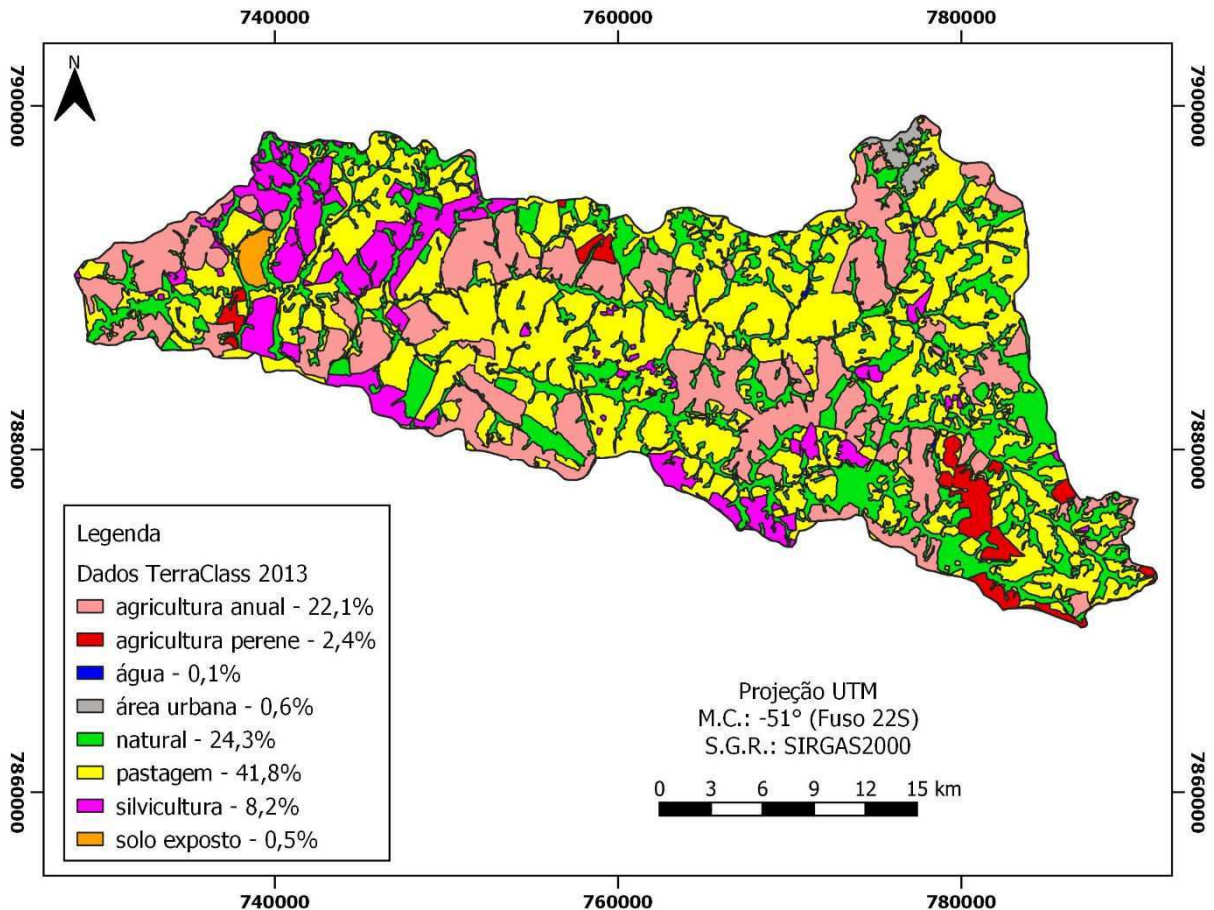


Fonte: Elaboração do autor.

Dados obtidos no projeto TerraClass Cerrado 2013 (Figura 6) indicam que, no referido ano, cerca de 24% da área da bacia se encontrava recoberta por remanescentes de vegetação natural. Pela metodologia desse projeto, a vegetação natural compreendeu as formações florestais, savânicas e campestres, assim como as formações florestais não vegetadas, a exemplo dos bancos de areia e afloramentos rochosos (TERRACLASS, 2019). Nas áreas já

descharacterizadas pela ação antrópica, predominaram as ocupações por pastagens (42%) e culturas anuais (22%), e o restante (12%) foi identificado como silviculturas, agricultura perene, água, área urbana e solo exposto. Os resultados do projeto levam a um alto grau de antropização da vegetação na bacia, porém não permitem fazer distinções da proporção do desmatamento nas áreas protegidas, como RLs e UCs.

Figura 6 – Dados do projeto TerraClass Cerrado 2013 na bacia do Ribeirão Douradinho



Fonte: Elaboração do autor.

Diante dos resultados obtidos no TerraClass, os remanescentes de vegetação nativa predominam nas adjacências dos cursos d'água, ao se sobreporem às áreas categorizadas como APPs. É uma característica bastante comum da ocupação e do uso do solo no contexto regional, visto que, nas áreas interfluviais de topografia pouco acidentada, se consolidaram as atividades agrossilvipastoris de grande escala; logo restaram, aos fundos de vale, os remanescentes de vegetação protegidos, em parte, pela existência das APPs.

Souza, Reis e Pedrosa (2014) mensuraram o grau de fragmentação dos remanescentes florestais na bacia do Ribeirão Douradinho e Estiva, na qual constataram que 38,1% dos fragmentos florestais são menores que cinco hectares e considerados muito pequenos –

fragmentos médios (de 10 a 100 ha) representaram 43,6%, e os grandes (acima de 100 ha), apenas 5,5% do quantitativo total. Os resultados indicaram que o elevado número de fragmentos pequenos é imprescindível para o fluxo biológico e funciona como trampolim ecológico entre os remanescentes maiores da região. Nesse caso, a distribuição espacial dos fragmentos florestais se mostra tão relevante quanto a área total ocupada por eles.

2 REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL BÁSICO

2.1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE ESPACIAL DE ANÁLISE

A adoção da bacia hidrográfica como unidade natural de análise em pesquisas ambientais no Brasil é reconhecida pela Geografia desde o fim da década de 1960. Botelho e Silva (2004, [n.p.]) ressaltam que a bacia hidrográfica pode ser entendida como célula básica de análise ambiental, o que permite conhecer e avaliar componentes, processos e interações com uma visão sistêmica e integrada:

Ao distinguirmos o estado dos elementos que compõem o sistema hidrológico (solo, água, ar, vegetação etc.) e os processos a eles relacionados (infiltração, escoamento, erosão, assoreamento, inundação, contaminação etc.), somos capazes de avaliar o equilíbrio do sistema ou ainda a qualidade ambiental nele existente.

Enquanto isso, Santos (2004, [n.p.]) assevera que a bacia hidrográfica é uma unidade espacial de fácil reconhecimento e caracterização, reconhecida por muitos autores como uma unidade de planejamento de aceitação universal:

O critério da bacia hidrográfica é comumente utilizado porque constitui um sistema delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas. Esta unidade territorial é entendida como uma caixa preta, onde os fenômenos e interações podem ser interpretados, a *priori*, pelo *input* e *output*. Neste sentido, são tratadas como unidades geográficas, onde os recursos naturais se integram.

A diversidade de usos e ocupações do solo no entorno do Ribeirão Douradinho, incluindo a proporção ocupada por vegetação nativa e/ou áreas legalmente protegidas, tem influência direta nos processos que interferem na qualidade dos recursos hídricos locais. A forma como as RLs e os FVNs se distribuem no espaço e a repercussão da configuração espacial na qualidade ambiental dos sistemas hidrológicos tornam a bacia hidrográfica o elemento mais apropriado como unidade de análise desta pesquisa.

Esse critério contrapõe, muitas vezes, àquele adotado pelos setores públicos de planejamento. Apesar de reconhecerem, por conceito, a bacia hidrográfica como área de estudo e unidade básica de interesse, a prática mostra que o gerenciamento dos recursos naturais tem sido segmentado para melhor atender aos interesses da administração pública (SANTOS, 2004).

Sob o ponto de vista do gerenciamento dos entes públicos em ações de controle e fiscalização das áreas de RL, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento pode resultar em situações nas quais o gerenciamento fica prejudicado. Contudo, ao visar uma abordagem com foco na contribuição ambiental das RLs, e não no gerenciamento das ações do poder público, a adoção da bacia hidrográfica é melhor aplicada.

Variáveis sociais, econômicas, políticas e até culturais têm forte influência na transformação do espaço, e suas interações sobre o meio físico transgridem os limites físicos da bacia hidrográfica. Nesses aspectos, não se pode aceitar a rigidez de um meio natural como área de planejamento e ação gerencial (SANTOS, 2004). Contudo, tais variáveis não são objeto de análise desta pesquisa, o que torna inexpressiva a utilização de outros critérios, como limites territoriais, raios de influência ou unidades homogêneas.

2.2 A IMPORTÂNCIA DOS FRAGMENTOS DE RESERVA LEGAL NO IMÓVEL RURAL E NA PAISAGEM REGIONAL

A conservação das áreas de vegetação nativa é uma estratégia bastante eficaz para proteção de recursos hídricos, controle de erosão do solo, conservação da biodiversidade, dentre outros benefícios; logo, desempenha um papel essencial na manutenção da saúde humana. Caracterizado como um instrumento legal de proteção dessas áreas, o CFB (BRASIL, 2012b) regulamenta as APPs e RLs que, de acordo com SBPC e ABC (2012, [n.p.]), possuem funções e características distintas:

As APPs protegem áreas mais frágeis ou estratégicas, como aquelas com maior risco de erosão de solo ou que servem para recarga de aquífero, seja qual for a vegetação que as recobre, além de terem papel importante de conservação da biodiversidade. Por se localizarem fora das áreas frágeis que caracterizam as APPs, as RLs são um instrumento adicional que amplia o leque de ecossistemas e espécies nativas conservadas. São áreas complementares que devem coexistir nas paisagens para assegurar sua sustentabilidade biológica e ecológica em longo prazo.

SBPC e ABC (2012) destacam ainda que as APPs e RLs são fundamentais para manter a produtividade em sistemas agropecuários, tendo em vista a influência direta na produção e conservação da água, da biodiversidade e do solo; e na manutenção de abrigo para agentes polinizadores, dispersores e inimigos naturais de pragas das próprias culturas da propriedade. No caso das RLs, os benefícios podem diversificar a produção e a renda, pois podem ser utilizadas por meio de manejo e exploração sustentável.

Entre os impactos negativos da redução de APPs e de RLs estão a extinção de espécies de plantas e animais, aumento de emissão de CO₂, redução de serviços ecossistêmicos como controle de pragas, polinização de plantas e proteção de recursos hídricos, propagação de doenças, intensificação de perturbações como incêndios, caça, extrativismo predatório, efeitos de agroquímicos, assoreamento de rios, reservatórios e portos, com claras implicações no abastecimento de água, energia e escoamento de produção em todo o país (SBPC; ABC, 2012, [n.p.]).

Nesse sentido, nota-se nesta pesquisa a relevância da distribuição espacial das áreas de RL enquanto fragmento da paisagem, relacionada à contribuição ambiental, e, no contexto do imóvel rural, relativa à contribuição no sistema produtivo. SBPC e ABC (2012, [n.p.]) justificam a função da RL enquanto fragmento da paisagem:

Além da questão biológica e dos serviços ecossistêmicos, pequenos fragmentos de vegetação nativa, mantidos como Reserva legal na mesma microbacia ou bacia têm importante papel para diminuir o isolamento dos poucos fragmentos maiores, funcionando como trampolins ecológicos no deslocamento das espécies pela paisagem. Sem esses fragmentos, os fluxos biológicos seriam muito prejudicados, acelerando ainda mais o processo de extinção.

As RLs, ao serem associadas aos demais FVNs remanescentes da paisagem, se tornam primordiais para a biodiversidade local, por meio da manutenção de corredores de vegetação nativa. Develey e Stouffer (2001, *apud* SBPC; ABC, 2012, [n.p.]) ressaltam a importância dos corredores de vegetação nativa para diversas espécies da fauna:

A sobrevivência de muitos vertebrados da fauna nativa depende da capacidade que estes têm de se deslocarem, mantendo populações geneticamente viáveis, especialmente em áreas onde a vegetação nativa se encontra fragmentada. Nas regiões fortemente alteradas pela ação antrópica a vegetação nativa é reduzida a pequenas ilhas isoladas em uma matriz agrícola ou pastoril. Nesta situação, invariavelmente, as populações de animais silvestres são pequenas e a variabilidade genética tende a diminuir, tornando-as altamente vulneráveis a extinção local. Nesta situação, corredores de vegetação nativa são de fundamental importância para conectar fragmentos, estabelecendo uma sinergia positiva entre o aumento das populações, da variabilidade genética e, conseqüentemente, de sobrevivência das espécies.

Nas regiões onde a vegetação original se encontra reduzida e dispersa em inúmeros fragmentos, que resulta em isolamento e redução de populações nativas da fauna e da flora, os corredores de vegetação nativa passam a ter papel fundamental. Muitas espécies silvestres não conseguem usar ou cruzar áreas abertas criadas pelo homem, tampouco em relação a interferências bastante estreitas, como as estradas (DEVELEY; STOUFFER, 2001, *apud* SBPC; ABC, 2012, [n.p.]).

Segundo Pardini *et al.* (2010), as áreas de RL, junto com as APPs, deveriam manter uma cobertura de vegetação nativa acima de 30%, porcentagem que representa um limiar importante: abaixo dele, os riscos de extinção de espécies aumentam rapidamente. Portanto, as RLs são capazes de conectar os remanescentes de vegetação nativa, de modo a criar uma rede de corredores interligados entre si. A capacidade de conexão entre fragmentos potencializa a conservação da fauna nativa de forma superior à simples somatória da aptidão de cada fragmento isolado.

Frente à distribuição dos fragmentos de vegetação nativa, dados relativos à área de ocupação e às respectivas taxas de desmatamento são importantes. O cerrado, onde se localiza o recorte espacial desta pesquisa, é o segundo maior bioma da América do Sul, com área de 2.036.448 km², cerca de 22% do território nacional.

Dados obtidos pelo projeto TerraClass Cerrado 2013, concernentes ao mapeamento de uso e da cobertura da terra do bioma Cerrado na escala de 1:250.000, demonstram o cenário atual da proporção de vegetação nativa em relação a outros usos do solo. A Tabela 1 apresenta os resultados referentes a 2013, cuja área mapeada de cobertura natural foi de 54,62% para o bioma cerrado. Já em Minas Gerais, esse número foi de 16 mil hectares, o que representa 47,9% da área do cerrado no estado (BRASIL, 2015).

Tabela 1 – Cálculo de área ocupada por diferentes classes de cobertura vegetal no bioma cerrado, obtido pelo TerraClass

Classes	Área (km ²)	%
Agricultura anual	174.006	8.53%
Agricultura perene	64.512	3.16%
Mineração	247	0.01%
Mosaico de ocupações	2.326	0.11%
Pastagem	600.832	29.46%
Silvicultura	30.525	1.50%
Solo exposto	3.621	0.18%
Urbano	8.797	0.43%
Outros	73	0.00%
Natural florestal	418.789	20.54%
Natural não florestal	692.301	33.95%
Natural não vegetado	2.609	0.13%
Água	15.056	0.74%
Não observado	25.549	1.25%
Total	2.039.243	100%

Fonte: Elaboração do autor, com base em dados obtidos no projeto TerraClass (2019).

De acordo com dados do Programa de Monitoramento do Desmatamento (PRODES), realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de 2001 a 2018 foram registrados 265.770,00 km² de área desmatada sobre o bioma, dos quais 16,01% se referem somente a Minas Gerais. Nos últimos 35 anos, mais da metade dos dois milhões de km² originais

foram cultivados com pastagens plantadas e culturas anuais. O cerrado possui a mais rica flora dentre as savanas do mundo (>7.000 espécies), com alto nível de endemismo (KLINK; MACHADO, 2005). Como instrumento legal para a garantia da função ambiental da vegetação nativa, frente ao cenário de redução da cobertura vegetal natural, não só no cerrado, mas também nos demais biomas que recobrem o país, o CFB (BRASIL, 2012b) tem a RL como um dos seus mecanismos.

SBPC e ABC (2012) demonstram que seriam necessários 235 milhões de hectares de RL para cumprir o CFB (BRASIL, 2012b), ao considerarem a hipótese de que todos os imóveis rurais destinam os remanescentes de vegetação natural para esta finalidade e utilizam os mecanismos de compensação local, se possuem vegetação natural em proporção menor que o mínimo exigido na legislação. Mesmo assim, ainda faltariam 42 milhões de hectares de vegetação natural para atender às exigências do CFB (*idem*).

As causas de não conformidade de imóveis rurais no cumprimento da exigência da RL são apresentadas por SBPC e ABC (2012). Dentre diversas razões, incluem-se constantes mudanças nas exigências da legislação, definição imprecisa de alguns mecanismos, falta de fiscalização e não aceitação das restrições pelos produtores rurais. Em contrapartida, a manutenção da vegetação nativa nas áreas de RL e APPs, conforme as exigências do CFB (BRASIL, 2012b), pode levar a um status de agregação de valor ao imóvel rural, pois este, ao estar regularizado do ponto de vista ambiental, isenta o proprietário de punições ou custos futuros para se adequar. Segundo o CFB (*idem*), áreas excedentes de vegetação nativa, em relação ao percentual mínimo de RL no imóvel, poderão ser comercializadas como cotas de RL para outros imóveis. Nesse caso, a manutenção de áreas de vegetação nativa no imóvel rural passa a ter um caráter de investimento para o proprietário.

2.3 CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO E RESERVA LEGAL

O CFB (2012b) é o principal instrumento legal que incide sobre a proteção e a restauração da vegetação natural, sobretudo em terras privadas (SPAROVEK *et al.*, 2011). Legislações ambientais no Brasil, com abordagem na implementação e manutenção de áreas protegidas, visando à preservação de fragmentos de vegetação nativa, se fazem presentes desde a primeira versão do CFB, em 1934 (BRASIL, 1934).

Nessa legislação já se estabelecia um limite para o desmatamento de um imóvel rural privado relativo a 25% de sua área, com exceção de propriedades pequenas situadas próximas

a florestas ou à zona urbana, ou se transformassem a vegetação florestal heterogênea (nativa) em homogênea (reflorestamento) (BRASIL, 1934). Originou-se dessa legislação uma primeira concepção sobre RL, embora esse termo ainda não tivesse sido criado. A preocupação inicial se resumia em manter uma reserva de madeira no interior da propriedade, sem critérios específicos para a localização e, tampouco, definição de regras para sua utilização (OLIVEIRA; BACHA, 2003).

A exigência da manutenção de áreas protegidas no interior dos imóveis rurais foi aprimorada com a segunda versão do CFB, em 1965. Definiu-se que, nas regiões Leste Meridional, Sul e parte sul do Centro-Oeste, as derrubadas de florestas nativas, primitivas ou regeneradas eram permitidas respeitando o limite mínimo de 20% da área de cada propriedade com cobertura arbórea localizada, a critério da autoridade competente (BRASIL, 1965). Diferentes percentuais foram estabelecidos para dimensionar a área a ser mantida com vegetação nativa, conforme a região do país e o grau de desmatamento do imóvel. Na parte norte do Centro-Oeste e na região Norte, a reserva legal deveria ser, no mínimo, de 50% da área da propriedade, sem delimitação explícita para o Nordeste (OLIVEIRA; BACHA, 2003).

Salienta-se também que, nessa legislação, a RL passou a ser distinguida das APPs. O entendimento a respeito da RL deixou de ser limitado a uma área a ser conservada para fins de fornecimento de madeira, passando a atender também à conservação da biodiversidade e a outros interesses ecológicos (OLIVEIRA; BACHA, 2003).

Em 1989, com o complemento da Lei n. 7.803 (BRASIL, 1989), que alterou alguns artigos do CFB em vigência à época (BRASIL, 1965), a RL passou a ser adotada como “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas”.

Outros avanços ocorreram em relação à abrangência da RL, como a obrigatoriedade da averbação à margem da certidão imobiliária do imóvel, o que impossibilita modificações de sua destinação nos casos de transmissão ou desmembramento. Também se instituiu a RL de 20% para áreas de cerrado, sem se limitar somente à cobertura florestal.

Oliveira e Bacha (2003) evidenciam que, de 1998 a 2001, diversas medidas provisórias instituídas pelo governo promoveram mudanças significativas na legislação ambiental, como: a redefinição das dimensões das RLs por região, a obrigatoriedade de recomposição com o estabelecimento de critérios e prazos, a permissão de compensação da RL fora do imóvel,

podendo ser instituída em regime de condomínio, a inclusão das APPs no computo da área mínima e a necessidade de aprovar a localização da RL por parte dos órgãos ambientais.

Em 2012, o atual CFB foi instituído pela Lei n. 12.651, de 25 de maio daquele ano, em que atribui uma nova definição para RL:

[...] área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural... com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (BRASIL, 2012b).

O art. 17 da referida lei adverte que a RL deve ser conservada com cobertura de vegetação nativa pelo proprietário do imóvel rural, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado (BRASIL, 2012b). Já o art. 12 estabelece os percentuais mínimos de RL a ser mantida nos imóveis rurais, a saber:

- Localizado na Amazônia Legal:
 - 80% no imóvel situado em área de florestas;
 - 35% no imóvel situado em área de cerrado;
 - 20% no imóvel situado em área de campos gerais.
- Localizado nas demais regiões do país:
 - 20%.

No atual CFB (BRASIL, 2012b), a APP é apresentada no art. 4º como:

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Dentre 11 categorias de áreas enquadradas como APP, se sobressaem as que ocorrem na área de estudo:

- Faixas marginais de qualquer curso d'água natural, sendo 30 metros para cursos d'água com até 10 metros de largura e 50 metros para cursos d'água com até 50 metros de largura;
- Áreas no entorno de nascentes ou olhos d'água perenes, no raio mínimo de 50 metros;
- Veredas, sendo a faixa marginal com largura mínima de 50 metros a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado.

Mudanças mais relevantes ocorreram nas áreas protegidas, com implicações diretas sobre as APPs e RLs. A nova lei preservou os principais instrumentos de proteção da vegetação

presentes na lei anterior, porém com alterações significativas em suas métricas e condicionadas a recortes fundiários (SILVA; MARQUES; SAMBUICHI, 2016).

Pela nova legislação, áreas protegidas que foram desmatadas em data anterior a 22 de julho de 2008 poderiam ser regularizadas, de modo a não configurar crime ambiental estabelecido pelo Decreto n. 6.514 (BRASIL, 2008), conhecido como Lei de Crimes Ambientais (LCA). A obrigatoriedade de recomposição das áreas desmatadas em APP e RL ficou condicionada ao tamanho do imóvel, conforme o valor da área do módulo fiscal de cada município.

Implementa-se no CFB (BRASIL, 2012b) um conceito inovador para as áreas que já haviam sido desmatadas para o uso da terra, denominadas como áreas rurais consolidadas, “com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio” (BRASIL, 2012b). Para sua caracterização, é suficiente a existência efetiva ou potencial de atividades agrossilvipastoris, em que se enquadram a agricultura, a pecuária e a silvicultura, além de edificações, estradas internas e estruturas produtivas (PAPP, 2012).

Em relação às APPs, com destaque às APPs hídricas (faixas marginais nos cursos d’água, nascentes e veredas), a obrigatoriedade de recomposição da vegetação em áreas rurais consolidadas ficou condicionada ao tamanho do imóvel rural, em que pode manter a largura da faixa de APP abaixo do mínimo estabelecido no artigo 4º do CFB (BRASIL, 2012b). Imóveis com área de até um módulo fiscal ficaram obrigados a recompor cinco metros de faixa marginal em cursos d’água e lagos naturais; e 30 metros para nascentes e veredas. A largura mínima da faixa marginal de APP aumenta gradativamente até alcançar os imóveis com área acima de quatro módulos fiscais, cuja obrigatoriedade de recomposição se manteve integral.

No quesito referente à RL, o art. 67 do CFB apresenta uma mudança importante sobre a obrigatoriedade de recomposição de áreas desmatadas para as pequenas propriedades rurais:

[...] nos imóveis rurais que detinham, em 22 de julho de 2008, área de até 4 (quatro) módulos fiscais e que possuam remanescente de vegetação nativa em percentuais inferiores ao previsto no art. 12, a Reserva Legal será constituída com a área ocupada com a vegetação nativa existente em 22 de julho de 2008, vedadas novas conversões para uso alternativo do solo” (BRASIL, 2012b).

Em termos absolutos, gerou-se uma redução no quantitativo de áreas a serem recuperadas, sendo isenta para imóveis com área menor do que quatro módulos fiscais. Na prática, a aprovação da nova lei implicou a anistia das multas e sanções decorrentes de desmatamentos ilegais realizados antes da promulgação da LCA (BRASIL, 2008) e na isenção,

principalmente para os pequenos produtores, da obrigatoriedade de recuperar áreas desmatadas (SILVA; MARQUES; SAMBUICHI, 2016).

A lei também especifica a não obrigatoriedade de RL nos imóveis rurais voltados a empreendimentos de abastecimento público de água e esgoto, áreas adquiridas ou desapropriadas para exploração de potencial de energia hidráulica, subestações e linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica, áreas adquiridas ou desapropriadas com vistas à implantação e ampliação de capacidade de rodovias e ferrovias, além das áreas utilizadas para infraestrutura pública.

Nesse entremeio, a localização da área de RL sobre o imóvel passa a ter estudos e critérios que devem ser levados em consideração. Enumeram-se o plano de bacia hidrográfica e/ou o zoneamento ecológico-econômico local, a formação de corredores ecológicos com outra RL, APP, UC ou outra área legalmente protegida, assim como as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade e de maior fragilidade ambiental.

O cômputo das APPs no cálculo do percentual mínimo de RL sobre o imóvel é permitido desde que não implique na conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo; e a área esteja conservada ou em processo de recuperação. Na prática, somente quando não há opção ambientalmente viável para a implantação da RL fora da APP e APP está com vegetação nativa, se computa a APP no cálculo da RL. O maior objetivo dessa alteração é reduzir o passivo ambiental, uma vez que esse mecanismo não deverá ser autorizado, caso implique na supressão de novas áreas de vegetação nativa (SBPC; ABC, 2012).

Para os imóveis rurais que detêm área de RL maior que o mínimo exigido no CFB (BRASIL, 2012b), permite-se a utilização da área excedente para constituição de servidão ambiental, Cota de Reserva Ambiental (CRA) e outros instrumentos congêneres, além da instituição da RL em regime de condomínio ou coletiva entre propriedades rurais. No parcelamento de imóveis rurais, a área de RL pode ser agrupada em forma de condomínio entre os adquirentes.

Dois mecanismos que repercutem sobre o regime de proteção das áreas de RL são a recomposição e a compensação, aplicadas para os imóveis que até 22 de julho de 2008 detinham área de RL inferior ao mínimo exigido. A recomposição da RL fica possibilitada mediante o atendimento a critérios estipulados pelo órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), devendo ser concluída em até 20 anos, e abranger, a cada dois anos, no mínimo 1/10 da área total necessária à sua complementação. Poderá ser realizada mediante o plantio intercalado de espécies nativas com exóticas ou frutíferas.

Por seu turno, na compensação, a RL pode ser regularizada mediante a aquisição de áreas equivalentes em outro imóvel rural, em vez de destinar áreas de uso produtivo para essa finalidade. Pode ser feita por meio da aquisição de CRA, arrendamento de área sob regime de servidão ambiental ou RL, ou, ainda, doação ao poder público de área localizada no interior de UC de domínio público pendente de regularização fundiária. Nesse caso, há a necessidade de a RL compensada estar no mesmo bioma do imóvel de origem e possuir extensões de área equivalentes.

Há de se destacar que, em Minas Gerais, vigora também a Lei n. 20.922 (MINAS GERAIS, 2013), conhecida como Código Florestal mineiro. Ela dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado e foi criada em consonância com o CFB (BRASIL, 2012b), com pequenas diferenças em alguns conceitos e aspectos mais restritivos no tocante à legislação federal. Contudo, em relação às implicações do CFB (*idem*) sobre as áreas de RL, não há diferenças significativas entre as legislações federal e estadual que comprometam a análise dos resultados desta pesquisa, com manutenção dos percentuais mínimos e da exigência de vegetação nativa nas RLs.

A principal implementação do CFB relacionada ao controle e monitoramento não só das áreas de RL, mas também de outras informações ambientais da propriedade rural, foi o CAR, consolidado em 2009 por meio do Decreto n. 7.029 (BRASIL, 2009), para auxiliar na regularização ambiental das propriedades e posses rurais (SILVA; MARQUES; SAMBUICHI, 2016). No art. 18, inciso 4º do CFB (BRASIL, 2012b), o imóvel submetido ao CAR fica desobrigado a averbar a RL na certidão imobiliária do cartório de registro de imóveis – tal procedimento era obrigatório no CFB anterior (BRASIL, 1965).

Contudo, a inscrição do imóvel no CAR é obrigatória, passando a ser um pré-requisito para a regularização ambiental do imóvel. Os processos de instituição de RL, inclusão das APPs no cálculo da área de RL, recomposição e compensação ficam condicionados ao registro do imóvel junto ao CAR.

O CFB prevê ainda a implementação de Programas de Regularização Ambiental (PRAs), que contemplam ações a serem desenvolvidas por proprietários e/ou possuidores rurais, com o objetivo de adequar e promover a regularização ambiental de seus imóveis (BRASIL, 2012b). Cumpre afirmar que essas iniciativas foram vinculadas diretamente ao registro junto ao CAR.

2.4 O CADASTRO AMBIENTAL RURAL

O atual CFB (BRASIL, 2012b) trouxe algumas regulamentações importantes para a instituição da RL como um mecanismo legal de proteção dos direitos ambientais:

Um dos aspectos inovadores do novo Código Florestal é o Cadastro Ambiental Rural. Trata-se de um instrumento pelo qual os proprietários ou possuidores devem registrar seus imóveis rurais, facilitando sua regularização ambiental. O objetivo do CAR é identificar cada propriedade e integrar suas informações ambientais, gerando uma base de dados que permita aos municípios, estados e União atuar no controle, monitoramento, identificação de passivos ambientais, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento. O CAR auxiliará os proprietários de terra e posseiros a proteger os recursos naturais e melhor planejar a sua produção (MACHADO, 2016, p. 18).

Machado (2016) ainda esclarece sobre o SICAR, definido como um sistema eletrônico de abrangência nacional e operado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que disponibiliza imagens de satélite de alta resolução para os proprietários localizarem e registrarem os imóveis. Ademais, afirma que a implementação do CAR fica sob a responsabilidade dos estados.

O Decreto n. 7.830/2012 define os critérios básicos para a implementação do sistema:

Cadastro Ambiental Rural – CAR deverá contemplar os dados do proprietário, possuidor rural ou responsável direto pelo imóvel rural, a respectiva planta georreferenciada do perímetro do imóvel, das áreas de interesse social e das áreas de utilidade pública, com a informação da localização dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente, das Áreas de Uso Restrito, das áreas consolidadas e da localização das Reservas Legais (BRASIL, 2012a).

Portanto, o CAR pode ser visto como um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, cuja finalidade é integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais. Consiste na primeira etapa de regularização ambiental do imóvel rural, frente às exigências do CFB (BRASIL, 2012b).

Até antes da implementação do SICAR, não havia dados sistemáticos sobre o número de imóveis rurais e da proporção deles que mantêm reserva legal. Oliveira e Bacha (2003) citam que, em data anterior à criação do CAR, as únicas informações disponíveis eram os cadastros de imóveis rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), prestadas diretamente pelos proprietários e nas quais eles não indicaram, em um ano-base, todos os dados das propriedades e excluíram informações que poderiam comprometê-los.

O sistema é visto por muitos autores como um avanço no processo de regularização ambiental de propriedades e posses rurais, pois proporciona transparência ao uso do território brasileiro. A criação de um banco de informações ambientais georreferenciadas dos imóveis rurais de todo o país, alimentado por dados fornecidos pelos cadastros de caráter declaratório, fornece um grande subsídio ao planejamento ambiental e econômico.

Dentre os benefícios do CAR aos imóveis rurais, o MMA cita: desobrigação da averbação da RL no cartório de registro de imóveis; acesso ao Programa de Apoio e Incentivo à Conservação do Meio Ambiente e aos PRAs; obtenção de crédito agrícola, em todas as suas modalidades, com taxas de juros menores, bem como limites e prazos maiores que os praticados no mercado; contratação do seguro agrícola em condições melhores do que as praticadas no mercado; geração de créditos tributários por meio da dedução das APPs, RLs e áreas de uso restrito da base de cálculo do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR); obtenção de linhas de financiamento para atender a iniciativas de preservação voluntária de vegetação nativa, proteção de espécies da flora nativa ameaçadas de extinção, manejo florestal e agroflorestal sustentável realizados na propriedade ou posse rural, ou recuperação de áreas degradadas; isenção de impostos para os principais insumos e equipamentos; suspensão de sanções e novas autuações em função de infrações administrativas por supressão irregular de vegetação em APP, RL e áreas de uso restrito cometidas até 22 de julho de 2008; e suspensão da punibilidade dos crimes previstos nos arts. 38, 39 e 48 da LCA (2008) associados a essas áreas (CAR, 2017), por meio da Lei n. 9.605 (BRASIL, 1998).

A inscrição no CAR é também uma condição para: autorização da prática de aquicultura e infraestrutura a ela associada nos imóveis rurais com até 15 módulos rurais, localizados em APPs; autorização de supressão de floresta ou outras formas de vegetação nativa no imóvel rural; aprovação da localização da RL; cômputo das APPs no cálculo da RL do imóvel; condição para autorizar a exploração econômica da RL mediante manejo sustentável; constituição de servidão ambiental e CRA, além do acesso aos mecanismos de compensação da RL; autorização de intervenção e supressão de vegetação em APP e de RL para atividades de baixo impacto ambiental; e autorização da continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até em 22 de julho de 2008 localizadas em APP e RL (CAR, 2017).

Os PRAs compõem um módulo no SICAR para adequar os imóveis rurais conforme o CFB (BRASIL, 2012b). Segundo informações do MMA (CAR, 2017), imóveis rurais com passivo ambiental relativo à supressão irregular de remanescentes de vegetação nativa, ocorrida

até 22 de julho de 2008, em APPs, RLs e áreas uso restrito, poderão solicitar a adesão aos PRAs para proceder à regularização ambiental dos imóveis rurais, que poderá ser efetivada mediante recuperação, recomposição, regeneração ou compensação. Sua adesão é realizada por meio da inscrição no CAR e da assinatura de um termo de compromisso. Contudo, os PRAs ainda não se encontram efetivamente implementados pelos estados para o cumprimento real da legislação ambiental.

Nesse contexto, o MMA (CAR, 2019) informa que foram cadastrados 5.266.313 imóveis no sistema em maio de 2019, o que abrange uma área de 5.556.156,6 km², total que representa 65% da extensão territorial do país. Em Minas Gerais, foram cadastrados 765.610 imóveis em uma área de 460.748 km². A Tabela 2 demonstra os números do CAR em todo o país até 31 de maio de 2019. Contudo, tais informações apresentam falhas, por não excluírem as áreas que apresentam sobreposições entre cadastros, resultando em valores superestimados em relação à realidade espacial de ocupação dos imóveis.

Outro dado falho se refere à utilização dos valores das áreas passíveis de cadastro obtidas do Censo Agropecuário 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007). A área total cadastrada representa um percentual superior à área passível de cadastro, sem ser de fato uma realidade quando se realiza uma breve análise dos dados espaciais.

Tabela 2 – Números do CAR

Região	Área total passível de cadastro (ha)	Área cadastrada (ha)	Imóveis cadastrados	Percentual de área cadastrada
Norte	93.717.515	145.877.156	816.895	acima de 100%
Nordeste	76.074.156	86.058.584	2.031.238	acima de 100%
Centro-Oeste	129.889.570	138.053.391	482.709	acima de 100%
Sudeste	56.374.996	72.446.355	1.268.773	acima de 100%
Sul	41.780.627	46.725.340	1.357.364	acima de 100%
UCs		32.836.553	26.670	
Total	430.673.417	521.997.379	5.983.649	acima de 100%

Fonte: Elaboração do autor, com base em dados do CAR (2019).

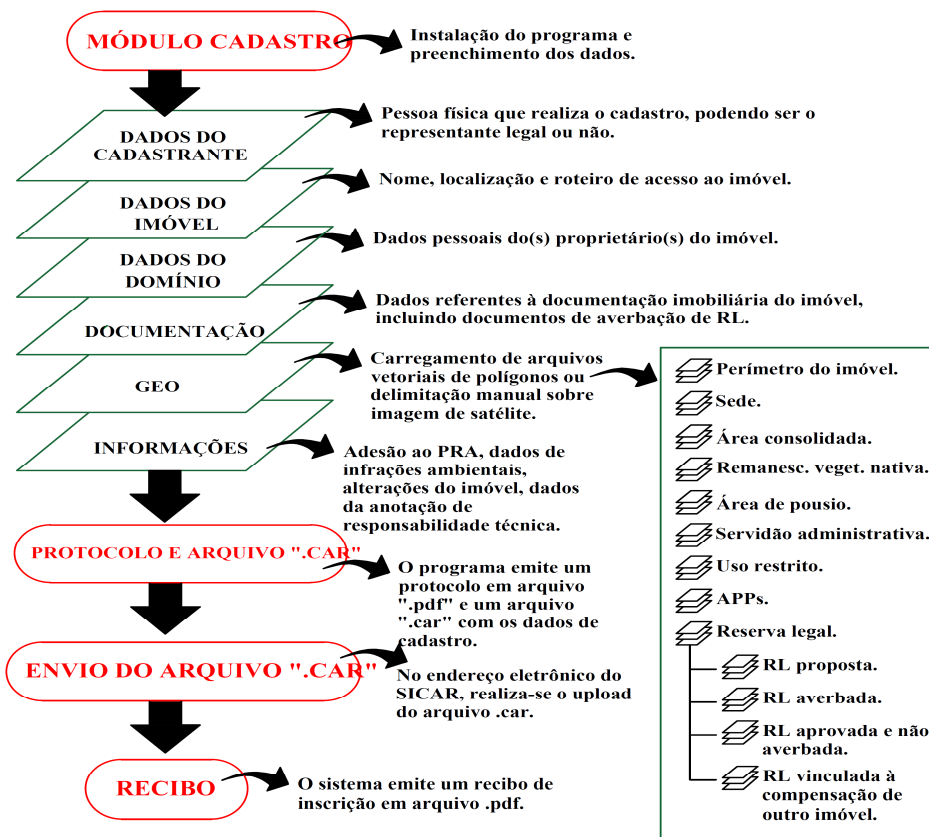
A inscrição do imóvel rural no CAR é realizada por meio do SICAR, cujo componente principal é o módulo de cadastro. Para isso, instala-se um programa no computador denominado “CAR – Módulo Cadastro”, obtido no endereço eletrônico <<http://www.car.gov.br>> e por meio do qual são declaradas informações como a identificação do proprietário ou possuidor; a comprovação da propriedade ou posse; e a identificação do imóvel, incluindo a localização dos remanescentes de vegetação nativa, das APPs de uso restrito, das áreas consolidadas e de RL, quando existirem. Finaliza-se o Módulo de Cadastro respondendo um questionário de dados complementares sobre a situação do imóvel (Figura 7).

Os dados cartográficos do imóvel são inseridos por meio do *upload* de arquivos vetoriais (*shapefiles* ou *kmls*) ou vetorização manual sobre imagens de satélite disponibilizadas pelo programa. Podem ser colocados ou vetorizados manualmente os polígonos referentes a perímetro do imóvel e local da sede, áreas ocupadas por vegetação nativa, áreas rurais consolidadas, áreas de pousio, áreas de servidão administrativa, APPs e RLs.

Exige-se que os polígonos de APP sejam discriminados conforme a tipologia descrita no CFB (BRASIL, 2012b), como APPs hídricas, manguezais e veredas, topos de morro, dentre outras. Os polígonos das RLs também devem ser descritos como:

- RL proposta: delimitação proposta pelo declarante ou proprietário, sem aprovação pelo órgão ambiental.
- RL averbada: delimitação devidamente aprovada pelo órgão ambiental e averbada junto à certidão imobiliária do imóvel rural.
- RL aprovada e não averbada: delimitação devidamente aprovada pelo órgão ambiental, mas ainda não averbada junto à certidão imobiliária do imóvel rural;
- Reserva vinculada à compensação de outro imóvel: delimitação de RL referente a outro imóvel rural.

Figura 7 – Fluxograma das etapas de inscrição no SICAR

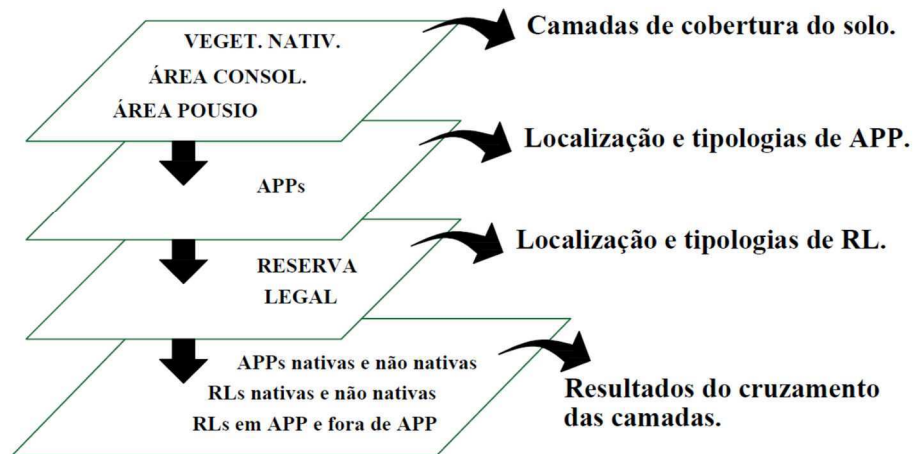


Fonte: Elaboração do autor.

O cadastramento correto das informações cartográficas do imóvel rural é fundamental para a eficiência do SICAR, pois, por meio dessa etapa, o sistema avalia as características ambientais do imóvel quanto à regularidade junto ao CFB (BRASIL, 2012b). As camadas de RL e APP representam o quantitativo de áreas protegidas inseridas no perímetro do imóvel; conseqüentemente, o cruzamento das camadas referentes à cobertura do solo (“área consolidada”, “remanescentes de vegetação nativa” e “área de pousio”) com as de APP e RL resulta em informações que representam a situação das áreas protegidas.

Calcula-se, por exemplo, o número de áreas de APP e RL que não se localizam sobre a vegetação nativa e que precisam teoricamente ser recuperadas ou também as RL alocadas sobre as APPs (Figura 8):

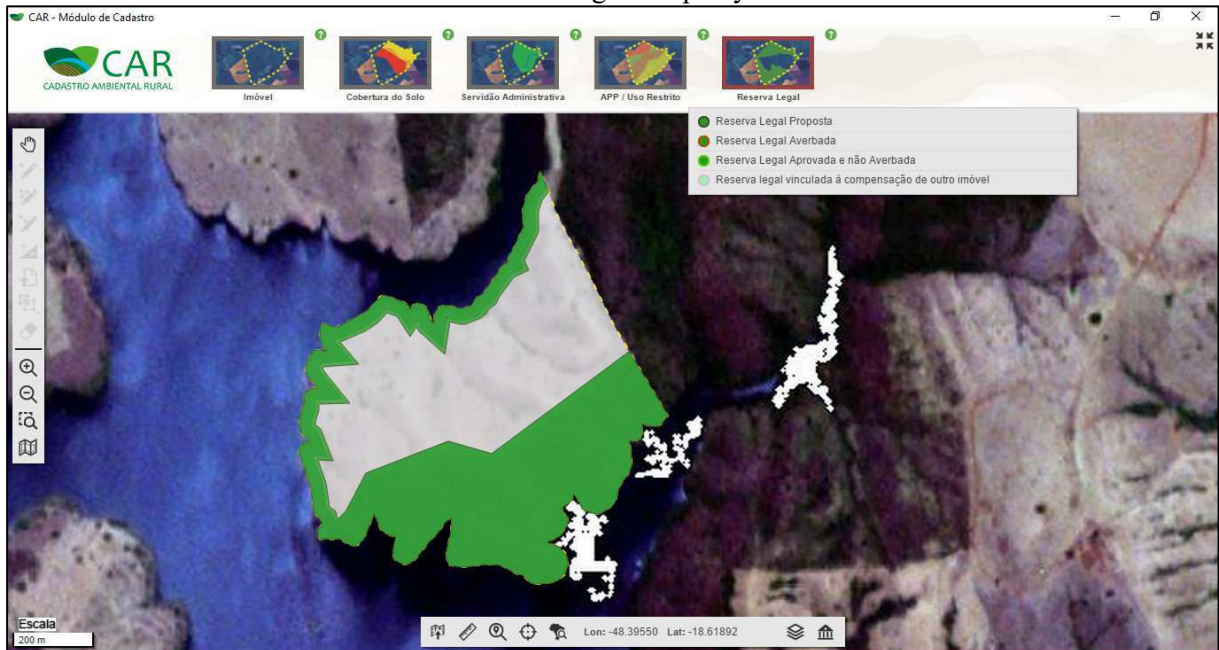
Figura 8 – Fluxograma do cruzamento das camadas de áreas protegidas no SICAR



Fonte: Elaboração do autor.

O Módulo de Cadastro oferece uma interface em ambiente SIG para sobrepor os polígonos das áreas cadastradas sobre uma imagem de satélite de boa resolução espacial (Figura 9). As imagens orbitais adquiridas pelo MMA para compor o Módulo de Cadastro são do satélite alemão Rapideye, em que há cenas ortorretificadas com resolução espacial de cinco metros, obtidas no período de 2011 a 2012.

Figura 9 – Interface em ambiente SIG do Módulo de Cadastro, com destaque aos polígonos do imóvel sobre a imagem Rapideye



Fonte: CAR (2019).

Tal sistema, em função da natureza declaratória das informações, não apresenta mecanismos de controle de qualidade referentes aos dados cartográficos. Não há restrições relativas a sobreposições com outros cadastros, tampouco especificações sobre escala mínima de mapeamento, métodos de obtenção dos dados georreferenciados, precisão posicional das coordenadas e titulação profissional específica do cadastrante. Ou seja, não existe uma norma técnica que estabeleça parâmetros de precisão para localizar um ponto na superfície terrestre, tornando o cadastro pouco confiável em termos de posicionamento espacial (FARIAS; CANDEIAS; LIMA JÚNIOR, 2018).

Contudo, o art. 7º do Decreto n. 7.830 (BRASIL, 2012a) determina que, em caso de detecção de pendências ou inconsistências nas informações declaradas e nos documentos apresentados no CAR, o declarante poderá sofrer sanções nos âmbitos penal e administrativo. Somente para imóveis com área acima de quatro módulos fiscais, exige-se informar no cadastro o número da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), restrita aos profissionais vinculados ao sistema dos Conselhos Regional e Federal de Engenharia e Agronomia (CREA/CONFEA).

As etapas subsequentes da inscrição do imóvel rural no CAR ocorrem após a finalização do preenchimento das informações no Módulo de Cadastro. O programa gera um arquivo com extensão .car, juntamente com o Protocolo de Preenchimento para Inscrição no CAR. Ao acessar o endereço eletrônico do SICAR (<<http://www.car.gov.br>>), deve-se acessar a opção

“enviar” e proceder com o *upload* o arquivo. Caso não haja pendências ou erros no procedimento realizado no Módulo de Cadastro, o sistema conclui o processo e emite o Recibo de Inscrição, documento comprobatório de inserção do imóvel rural. A partir desse momento, os dados espaciais do respectivo imóvel passam a ser disponibilizados publicamente no endereço eletrônico do SICAR, podendo ser obtidos via *download* em formato *shapefile*.

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS COMO FERRAMENTAS DE ANÁLISE

2.5.1 O satélite CBERS4 e sua aplicação no mapeamento da vegetação

Diversas soluções em imagem de satélite estão disponíveis para aquisição de forma gratuita e são fornecidas, principalmente, por instituições públicas como o INPE, do Brasil, e a *United States Geological Survey* (USGS), dos Estados Unidos. Dentre as imagens de aquisição gratuita, destacam-se as multiespectrais, com até 10 bandas entre as faixas espectrais do visível e o termal, de baixa a média resolução espacial, variando de 5 a 30 metros e com resolução radiométrica de 8 a 32 bits. Os exemplos mais comuns são as imagens das constelações Landsat, Aster, Sentinel, *China-Brazil Earth-Resources Satellite* (CBERS), dentre outras.

Nesta pesquisa, foram escolhidas as imagens do satélite CBERS4 como fonte de dados para o levantamento dos FVNs e a avaliação das áreas de RL. Apesar da disponibilidade de outros produtos, com parâmetros considerados de melhor qualidade que o CBERS, optou-se por utilizar um produto parcialmente desenvolvido e gerido por instituição de origem nacional e de acesso público, por se tratar da análise de dados de um sistema público como o SICAR.

O satélite CBERS4 resulta de uma parceria técnico-científico-espacial entre Brasil e China. Foi lançado em 7 de dezembro de 2014, na base de Taiyuan, localizada a 700 km de Pequim. Suas imagens são usadas no controle do desmatamento e de queimadas na Amazônia Legal, no monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano e ocupação do solo, em educação e em outras aplicações. Projetos nacionais estratégicos como o PRODES, de avaliação do desflorestamento na Amazônia, a Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e o monitoramento das áreas canavieiras via CANASAT utilizam imagens do satélite (INPE, 2019). A aquisição pode ser feita de forma gratuita via *download* no endereço eletrônico do INPE (<<http://www.inpe.br>>).

O satélite possui quatro câmeras: Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN), Câmera Multiespectral Regular (MUX), Imageador Multiespectral e Termal (IRS) e Câmera de Campo Largo (WFI). O sensor remoto utilizado para a geração das imagens desta pesquisa foi a PAN, cujos parâmetros são representados no Quadro 1:

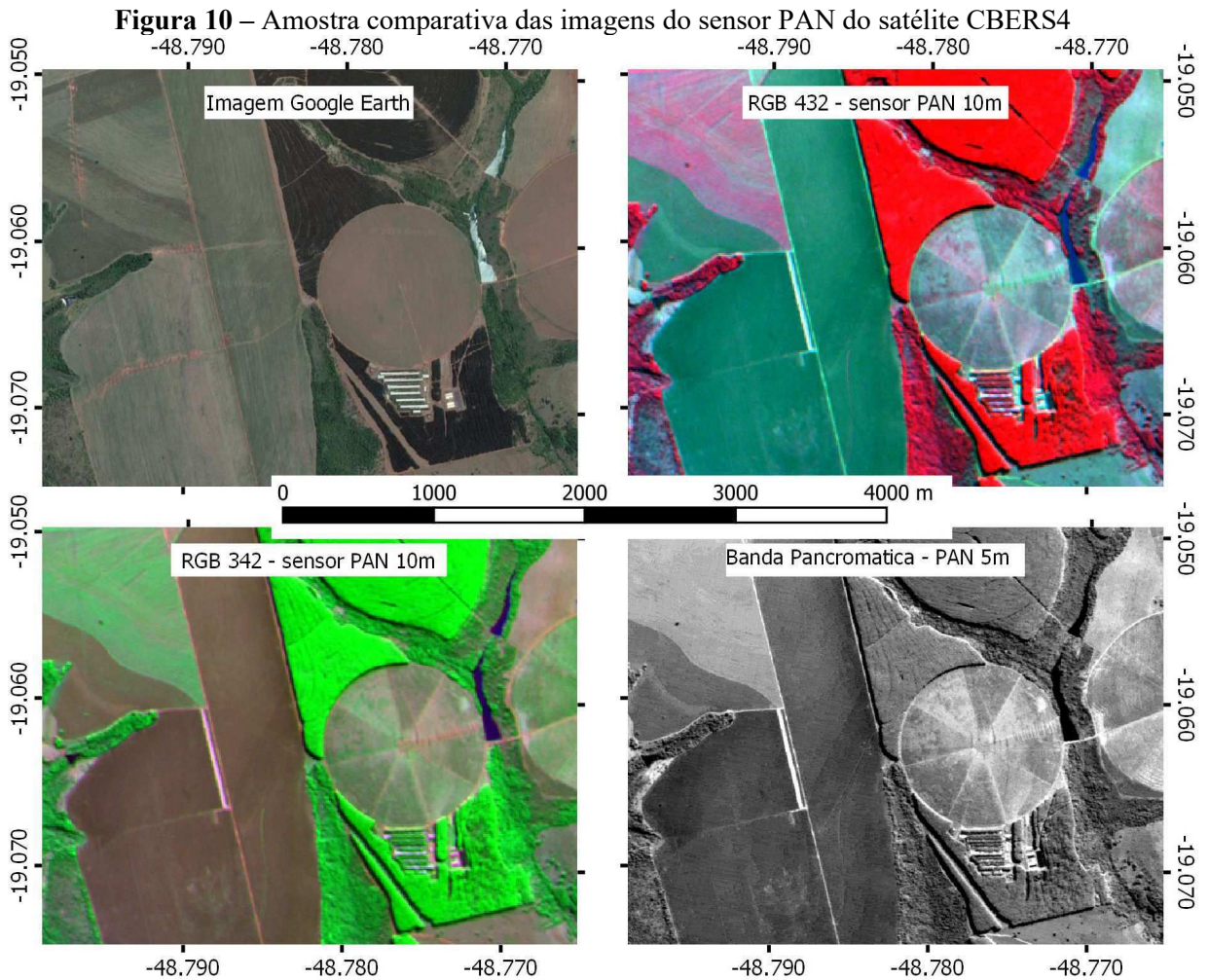
Quadro 1 – Parâmetros da câmera PAN do satélite CBRES4

Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN)	
Característica	Dado
Bandas Espectrais	B01: 0,51-0,85 μm
	B02: 0,52-0,59 μm
	B03: 0,63-0,69 μm
	B04: 0,77-0,89 μm
Largura da Faixa Imageada	60 km
Resolução Espacial	5 m (B01) /10 m (B02, B03, B04)
Visada Lateral de Espelho	$\pm 32^\circ$
Taxa Bruta de Dados (Mbit/s)	140 Mbit/s (B01)
	100 Mbit/s (B02, B03, B04)

Fonte: INPE (2019).

Faixas espectrais do verde (banda 2), vermelho (banda 3) e infravermelho próximo (banda 4) captadas pelo sensor PAN permitem compor bandas para geração de imagens falsa-cor que destacam as feições da vegetação (Figura 10). A composição de bandas consiste na aplicação do sistema de cores *Red, Green, Blue* (RGB) nas faixas do espectro determinado pelas bandas espectrais da imagem, o que permite a visualização dos diferentes comprimentos de onda por meio de cores.

Como a vegetação possui alta refletância na região do espectro do infravermelho próximo, a banda 4 do satélite CBERS4 se enquadra adequadamente no mapeamento das RLs. Nessa região, a vegetação reflete maior quantidade de energia e se diferencia dos demais objetos, como solo exposto ou água (MENESES; ALMEIDA, 2012).



A cena do sensor PAN de resolução espacial de cinco metros, correspondente à banda espectral pancromática, possibilita a aplicação do Processamento Digital de Imagens (PDI) relativo à fusão de bandas. Desse modo, obtém-se ganho significativo ao se juntar a alta resolução da banda pancromática à multiespectralidade, em 10 metros, das outras bandas (INPE, 2019). Suas imagens são capazes de realizar mapeamentos em escala até 1.25.000 e possuem periodicidade relativamente adequada (26 dias). Tais características enquadram as imagens fornecidas pelo satélite CBERS4 como um produto capaz de fornecer informações expressivas das condições da vegetação no interior das RLs declaradas no CAR e permitem o monitoramento periódico delas.

Vale ressaltar que o INPE não disponibiliza metadados das imagens disponibilizadas. Portanto, não é possível realizar procedimentos de correção atmosférica para a aplicação correta de técnicas de classificação de imagens ou geração de índices de vegetação. Apesar dessa limitação, as cenas de composição colorida do CBERS4 podem ser plenamente exploradas por meio da foteointerpretação.

Para o SR, a fotointerpretação pode ser entendida como a técnica de examinar fotografias aéreas ou imagens de satélite e deduzir sua significação, algo primordial para a elaboração de mapas temáticos, como geomorfologia, vegetação, uso do solo etc. Florenzano (2008, p. 41) destaca a importância desse procedimento e os elementos necessários para tal:

A partir da interpretação de imagens de satélite é possível obter muitas informações sobre os ambientes da superfície terrestre, gerar mapas como os de geologia, solos, relevo, vegetação e uso da terra. No processo de interpretação de uma imagem, isto é, de identificação dos objetos nela representados, utilizamos suas variações de cor, forma, tamanho, textura (impressão de rugosidade), padrão (arranjo espacial dos objetos), localização e contexto.

Com base em Rosa (2009), a relação entre os elementos fotointerpretativos identificados na imagem (tonalidade, cor, textura, padrão, localização, forma, sombra e tamanho) possibilita a elaboração de uma chave de interpretação que, nesse caso, é aplicada ao mapeamento das feições da vegetação.

Nesse sentido, a identificação das fitofisionomias vegetacionais visando à diferenciação de áreas com cobertura vegetal nativa de áreas antropizadas por meio da fotointerpretação é um recurso metodológico para alcançar os objetivos desta pesquisa. Para tanto, são necessários recursos computacionais eficientes para tratamento, manipulação e análise das informações extraídas das imagens do satélite CBERS4.

2.5.2 Aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas no tratamento e análise dos dados

Processos que envolvem PDI de satélite, edição e manipulação de dados vetoriais, compatibilização e integração de dados geográficos com diferentes sistemas de referência espacial, aplicação de análise espacial entre vetores, confecção de mapas, tabelas e gráficos demandam programas computacionais específicos que integram os SIGs. Estes podem ser entendidos como:

[...] sistemas destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente. Existe muitas definições para SIG, no entanto, a ideia básica consiste em tecnologias para aquisição, armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados espaciais. Esta tecnologia torna possível a automatização de tarefas realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da possibilidade de integração de dados obtidos por diversas fontes (ROSA, 2003, p. 219).

Por meio do SIG, realizam-se operações de análise quantitativa e qualitativa, sendo possível integrar os dados obtidos do SR, CAR e em campo:

O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas são instrumentos poderosos no levantamento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. As possibilidades oferecidas pelos SIGs em integrar dados (de laboratório, campo, mapas, etc.) permite sua aplicação nos mais variados campos relacionados às ciências da natureza. [...] O sensoriamento remoto possibilita a obtenção de dados de forma rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais e escalas e os SIGs permitem a ligação destas informações com outros tipos de produtos, tornando estas duas tecnologias complementares (ROSA, 2003, p. 222).

Um SIG não se resume apenas ao componente computacional, mas também a uma aplicação composta por dados digitais (podendo ser dados espaciais ou não), *hardware* e sistema operacional do computador, programa computacional, método (modelos e práticas operacionais para o *software* executar diversas tarefas) e recursos humanos.

Há diversos programas disponíveis no mercado, de licença gratuita ou não, capazes de suprir as demandas computacionais desta pesquisa, com destaque para QGIS, que detém um conjunto de ferramentas que permitem, dentre outras funcionalidades:

- Processar imagens de satélite – criação de imagem de composição colorida falsa-cor a partir das cenas das bandas espectrais do satélite CBERS4; correção geométrica; compatibilização do sistema de referência espacial; criação de mosaicos; elaboração de modelos digitais de elevação a partir de dados altimétricos.
- Editar e manipular dados vetoriais – organização dos *shapefiles* obtidos do CAR, de modo a filtrar aqueles que abrangem a área de estudo; edição de metadados; compatibilização do sistema de referência espacial.
- Vetorizar – criação e delimitação de polígonos das feições da vegetação no interior das RLs, sobrepostas às imagens CBERS4, possibilitadas pela interface do programa em compatibilizar espacialmente os respectivos dados.
- Realizar a análise espacial – operações geométricas entre vetores, envolvendo identificação e quantificação de áreas de sobreposição por interseção.
- Confeccionar mapas – geração de *layout* de impressão por meio da visualização e sobreposição dos dados geográficos dispostos em camadas.

O ArcGIS é um programa componente de um SIG, também utilizado nesta pesquisa, cuja funcionalidade envolveu as operações de análise espacial, mais especificamente voltadas ao cálculo das Métricas da Paisagem. A extensão Patch Analyst, instalada separadamente, diz

respeito a uma ferramenta complementar aplicada à análise espacial de fragmentos da paisagem e modelagem de atributos associados a fragmentos. A importância da aplicação das métricas sobre os FVNs e fragmentos de RL é relatada a seguir.

2.6 MÉTRICAS DA PAISAGEM COMO METODOLOGIA DE ANÁLISE

Sob o ponto de vista da distribuição espacial dos FVNs, áreas legalmente protegidas como as APPs, UCs, áreas de uso restrito e RLs são vistas como elementos da paisagem que podem ser interpretados por meio de métricas. Já as relações espaciais entre fragmentos que envolvem atributos relativos à dimensão, distribuição, forma, padrão, dentre outras características podem ser quantificadas a partir de índices numéricos.

Batista (2014) afirma que a dinâmica da paisagem pode ser interpretada por meio de métricas que medem e descrevem a estrutura espacial dos fragmentos, das classes de fragmentos ou da totalidade. Logo, uma abordagem conceitual-metodológica de Métricas da Paisagem se volta a analisar as características espaciais dos FVNs e das RLs sobre a paisagem, em que os SIGs e outros programas específicos se enquadram como ferramentas indispensáveis.

Métricas da Paisagem são medidas quantitativas da composição da paisagem que permitem, em um determinado contexto de avaliação e classificação, descrever, por meio de indicadores de natureza numérica, os componentes de um contexto multidimensional complexo, associado à noção de paisagem (CARRAO, 2002, *apud* DUARTE; NEVES, 2018). Elas se originam da Ecologia da Paisagem, campo que envolve o estudo de padrões da paisagem, as interações entre os fragmentos em um mosaico da paisagem e como esses padrões e interações se modificam com o tempo (VOLOTÃO, 1998).

O grau de fragmentação dos remanescentes de vegetação nativa, que pode ser representado por indicadores quantitativos como tamanho, forma, distribuição e conectividade, permite avaliar comparativamente a qualidade ambiental ou integridade da paisagem. Nesse sentido, a análise espacial das RLs e dos FVNs por meio das Métricas da Paisagem pode fornecer informações relevantes, de modo a identificar regiões com maior dispersão ou vazios de fragmentos de RL vinculada aos FVNs existentes, comparar as distâncias médias entre fragmentos e quantificar os níveis de conectividade. A partir dessa análise, pode-se subsidiar a identificação de áreas prioritárias para alocação e/ou recomposição das RLs, o que auxilia na elaboração de um modelo de apoio e decisão em processos de planejamento e gestão ambiental.

Volotão (1998, p. 5) demonstra que a definição de paisagem, no campo da Ecologia da Paisagem, possui diversas variantes, de acordo com o contexto da pesquisa ou o gerenciamento, e a escala de análise resulta em diferentes configurações da paisagem:

Não se está querendo impor uma única definição de paisagem. Ao contrário, deseja-se mostrar que existem vários modos apropriados para se definir a paisagem, dependendo do fenômeno em consideração. O ponto importante é que a paisagem não é necessariamente definida por suas dimensões; ao invés disso, é definida por um mosaico interativo de partes relevantes ao fenômeno sob consideração (em qualquer escala). É incumbência do investigador ou gerente definir a paisagem de maneira apropriada. O primeiro passo essencial em qualquer trabalho de pesquisa ou gerenciamento no nível de paisagem é justamente definir paisagem.

Nesse caso, o recorte espacial da bacia hidrográfica passa a ser definido como a delimitação da paisagem a ser analisada pelas métricas, o que pode ser justificado pelo foco desta pesquisa em avaliar a contribuição ambiental dos fragmentos de RL, ao qual delimitações político-administrativas não se aplicariam. Em se tratando da escala de análise da paisagem, a dimensão mínima dos fragmentos a serem considerados e a resolução espacial das imagens orbitais utilizadas se configuram como fatores limitadores.

As Métricas da Paisagem são aplicadas para produzir parâmetros espaciais de RLs, FVNs e APPs delimitadas pela área de estudo, cujos resultados podem ser comparados com projeções de cenários futuros, de acordo com a recomposição vegetal nas áreas protegidas que se encontram alteradas ou degradadas. Informações como a proporção dessas áreas sobre a área total da bacia, o tamanho médio e a distância média entre fragmentos são essenciais no contexto da função legal da RL e em sua relação com os demais FVNs.

McGarigal e Marks (1995), Volotão (1998) e Rempel, Kaukinen e Carr (2012) abordam um conjunto de métricas espaciais organizadas em grupos de parâmetros e utilizadas nos seguintes níveis: fragmento individual, classe do fragmento e paisagem. Para a aplicabilidade das métricas citadas a seguir, enquadram-se as delimitações individuais de RLs, FVNs e APPs como fragmentos da paisagem. A classe do fragmento se enquadra na categoria da delimitação (RL, APP ou FVN), e o nível da paisagem é delimitado pela bacia hidrográfica.

O programa Fragstats e a extensão Patch Analyst, desenvolvidos para o cálculo de Métricas da Paisagem, oferecem mais de 50 métricas espaciais que analisam parâmetros referentes a aspectos como área, borda, forma, área central, contraste, agregação e diversidade, analisadas sob os níveis de fragmento, classe e paisagem. Contudo, algumas métricas são irrelevantes ou redundantes no cenário de análise de RLs, FVNs e APPs como um fragmento componente da paisagem.

Nesta investigação foram adotadas métricas aplicadas ao nível da classe do fragmento, com base em McGarigal e Marks (1995) e Volotão (1998). Visa-se, porquanto, comparar os cenários de fragmentação da paisagem com foco nos FVNs e RLs, cujas alterações podem ocorrer pela sucessão espaço-temporal do uso e da cobertura do solo:

- **CA – Área de todas as manchas da classe (ha):** valor total da área ocupada pelos fragmentos de uma classe.

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

a_{ij} = soma das áreas dos fragmentos de uma classe (m^2).

- **PLAND – Porcentagem da classe na paisagem (%):** proporção da área total dos fragmentos de uma classe em relação a área total da paisagem.

$$PLAND = P_1 = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$$

P_i = proporção da paisagem ocupada pelo fragmento tipo (classe) i ;

a_{ij} = área do fragmento ij (m^2);

A = área total da paisagem (m^2).

- **LPI – Índice do maior fragmento (%):** proporção ocupada pelo maior fragmento em relação à área total da paisagem.

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$$

a_{ij} = área do maior fragmento da paisagem (m^2);

A = área total da paisagem (m^2).

- **NP – Número de fragmentos (adimensional):** número de fragmentos existentes na classe.

$$NP = n_i$$

n_i = número de fragmentos de tipo (classe) i na paisagem.

- **MPS – Tamanho médio das manchas (ha):** valor da área média dos fragmentos de uma classe.

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{N} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

a_{ij} = área do fragmento do tipo (classe) i na paisagem (m^2);

N = número de fragmentos na paisagem.

- **MNN – Distância média do vizinho mais próximo (m):** soma de todas as distâncias entre cada fragmento (borda a borda) e o vizinho mais próximo de mesma classe, dividido pelo número de fragmentos da classe.

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{n'_i}$$

h_{ij} = somatória das distâncias do vizinho mais próximo;

n'_i = número de fragmentos do tipo (classe) i na paisagem.

- **MPI – Índice de proximidade média (adimensional):** média da soma de cada área dos fragmentos de mesma classe, divididos pela respectiva distância euclidiana (borda a borda), ao considerar somente os fragmentos do raio de busca.

$$MPI = \frac{\sum_{ni=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}}}{N}$$

a_{ijg} = área (m^2) do fragmento ijg na vizinhança especificada (m) do fragmento ij ;

h_{ijs} = distância (m) entre os fragmentos ijs , com base na distância borda a borda, computada do centro da célula para o centro da célula;

N = número de fragmentos.

Resultados obtidos por meio dessas métricas objetivam fornecer indicadores numéricos para a avaliação de aspectos relativos à dimensão e o grau de fragmentação e conectividade dos FVNs e RLs. São inter-relacionados os dados de área total ocupada, o número de fragmentos, a área média de cada fragmento e a distância média entre eles.

Volotão (1998) classifica CA, PLAND e LPI como “métricas de área”, bastante úteis para estudos ecológicos, visto que a riqueza e a abundância de certas espécies estão diretamente relacionadas às dimensões dos fragmentos vividas por elas; NP e MPS são “métricas de fragmentos”, por representarem a configuração da paisagem, o grau de fragmentação e a heterogeneidade dos fragmentos; e MNN e MPI são “métricas de vizinho mais próximo”, que também quantificam a configuração da paisagem pela medida da distância borda a borda entre os fragmentos. Vale lembrar que a mensuração da proximidade entre os fragmentos é importante para avaliar os processos ecológicos, com destaque para o grau de isolamento dos fragmentos nos resultados obtidos.

3 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Os procedimentos operacionais que deram fundamentação a esta pesquisa consistiram, primeiramente, em reunir materiais e equipamentos necessários para analisar as informações declaradas no SICAR e levantar dados reais da vegetação, com ênfase nas áreas de RL.

Enquanto isso, os materiais utilizados foram os documentos digitais que compuseram a base cartográfica desta pesquisa: imagens de satélite, Modelos Digitais de Elevação (MDEs), cartas topográficas (Figura 11), arquivos vetoriais do SICAR e dados georreferenciados obtidos em levantamentos de campo.

Por fim, os equipamentos empregados contemplaram os programas de SIG, de PDI, de cálculo de métricas espaciais e de edição de texto e tabelas; computador de capacidade operacional adequada; receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS); e câmera fotográfica digital, para coleta de dados em campo.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Documentos cartográficos

As imagens do satélite CBERS4, com sensores PAN 10M e 5M, foram adquiridas via internet no formato .tif, no endereço eletrônico do catálogo de imagens do INPE – <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>> – em que forneceram informações reais sobre a identificação da vegetação nas áreas de interesse. Os parâmetros das imagens são descritos no Quadro 2:

Quadro 2 – Parâmetros das imagens do satélite CBERS 4

Satélite	Sensor	Data de imageamento	Nº Orbits	Nº Ponto	Bandas	Resolução espacial
CBERS 4	PAN 10M	22/07/2018	158	121	1, 2, 3 e 4	5m (banda 1) e 10 m (Bandas 2, 3 e 4)
		20/08/2018	157	121		

Fonte: Elaboração do autor, com base em dados do INPE (2019).

Já os dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foram obtidos pela internet no endereço eletrônico do catálogo de imagens da USGS: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Tais informações forneceram o modelo de elevação do terreno para delimitar as bacias hidrográficas, cujos parâmetros constam no Quadro 3:

Quadro 3 – Parâmetros dos dados SRTM

Dados	Data de imageamento	Código da Cena	Resolução
SRTM	23/09/2014	SRTM1S19W049V3	1” de arco
		SRTM1S20W049V3	

Fonte: Elaboração do autor, com base em dados da USGS (2019).

Em relação às cartas topográficas confeccionadas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), de escala 1:25.000 (Quadro 4), em formato matricial .tiff, elas foram fornecidas pelo Laboratório de Cartografia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU). A partir disso, obtiveram-se informações relativas à toponímia dos cursos d’água e verificação dos MDEs para identificação das bacias hidrográficas:

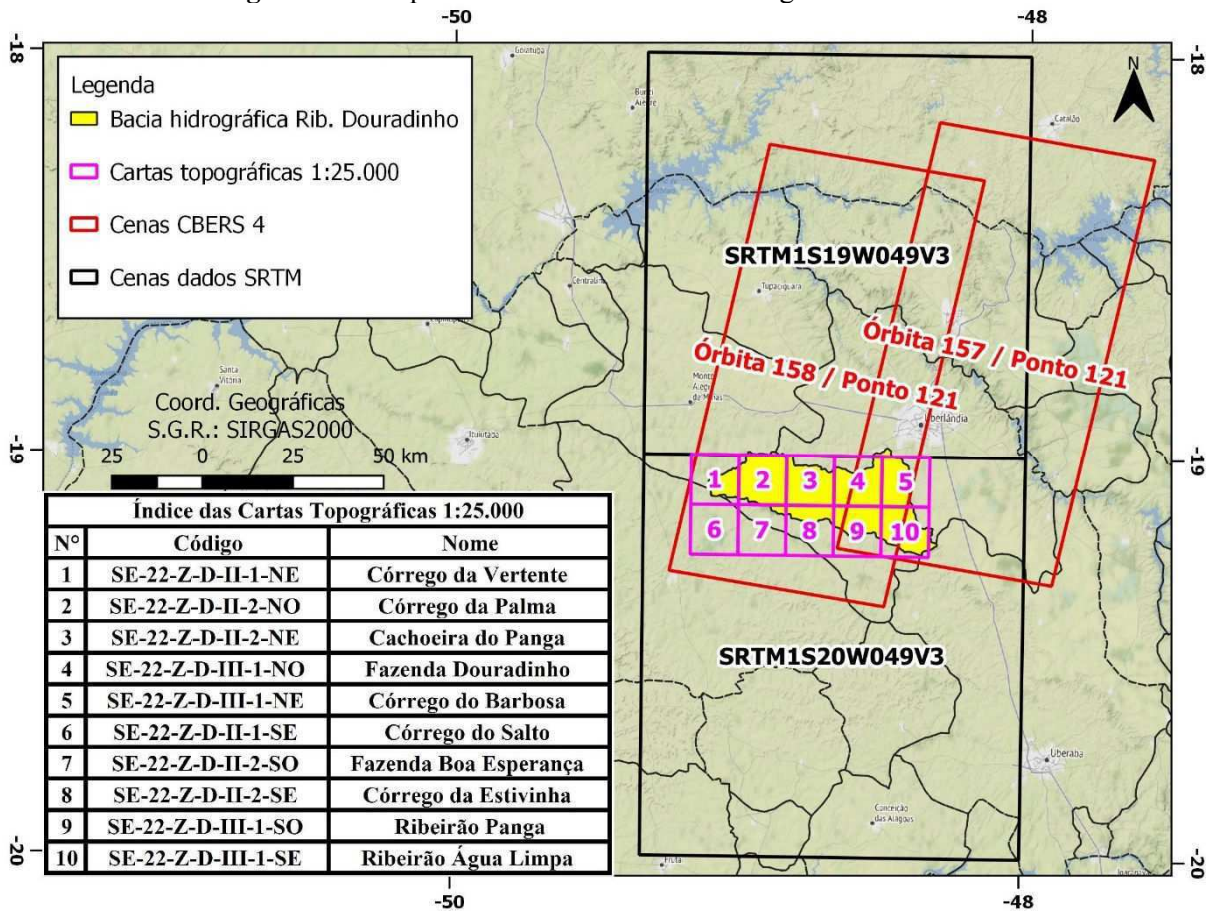
Quadro 4 – Relação de cartas topográficas na bacia do Ribeirão Douradinho

Código	Nome
SE-22-Z-D-II-2-NE	Cachoeira do Panga
SE-22-Z-D-II-2-NO	Córrego da Palma
SE-22-Z-D-II-2-SE	Córrego da Estivinha
SE-22-Z-D-II-2-SO	Fazenda Boa Esperança
SE-22-Z-D-III-1-NE	Córrego do Barbosa
SE-22-Z-D-III-1-NO	Fazenda Douradinho
SE-22-Z-D-II-1-NE	Córrego da Vertente
SE-22-Z-D-II-1-SE	Córrego do Salto
SE-22-Z-D-III-1-SE	Ribeirão Água Limpa
SE-22-Z-D-III-1-SO	Ribeirão Panga

Fonte: Elaboração do autor, com base nos dados fornecidos pela DSG.

Arquivos vetoriais em formato *shapefile* (.shp) do SICAR, referentes aos municípios de Monte Alegre de Minas e Uberlândia, em Minas Gerais, foram adquiridos via internet no endereço eletrônico <<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>>. Consistem nos polígonos cadastrados pelos declarantes, referentes a perímetro do imóvel, RLS, APPs, áreas rurais consolidadas, áreas de vegetação nativa, áreas de servidão e hidrografia. A data de aquisição dos dados foi 22 de agosto de 2018.

Figura 11 – Mapa índice dos documentos cartográficos utilizados



Fonte: Elaboração do autor.

3.1.2 Equipamentos e programas

No processo de realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes equipamentos e programas:

- Computador *notebook*.
- QGIS versão 3.2.0-Bonn – *software* livre de SIG com código-fonte aberto e multiplataforma que permite visualizar, editar e analisar dados georreferenciados.
- ArcGis versão 10.2.2 – *software* licenciado de SIG e multiplataforma, que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.
- Patch Analyst versão 5.2.10.16 – extensão gratuita do *software* ArcGis, com aplicação em análise espacial de fragmentos da paisagem e modelagem de atributos associados a fragmentos, disponível para *download* no endereço eletrônico <http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/Patch5_1_Install.htm>.
- ENVI versão 5.1 – *software* licenciado de PDI aplicado ao SR.

- Fragstats, versão 4.2 – programa de domínio público aplicado à análise da estrutura da paisagem por meio de um conjunto compreensivo de métricas de paisagem baseadas na fragmentação de um *raster*. Desenvolvido na *Oregon State University*, a aquisição pode ser feita mediante *download* no endereço eletrônico da instituição: <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/downloads/fragstats_downloads.html>.
- Google Earth Pro versão 7.3.2.5776 – programa de visualização tridimensional do globo terrestre construído a partir do mosaico de imagens de satélite e imagens aéreas de fontes diversas.
- Microsoft Office.
- Receptor GNSS Garmin Etrex 20 (precisão estimada de 3,6 m).
- Câmera fotográfica digital do smartphone Samsung J5 Prime – 13 Megapixels (MP) – 4163 x 3122 pixels.

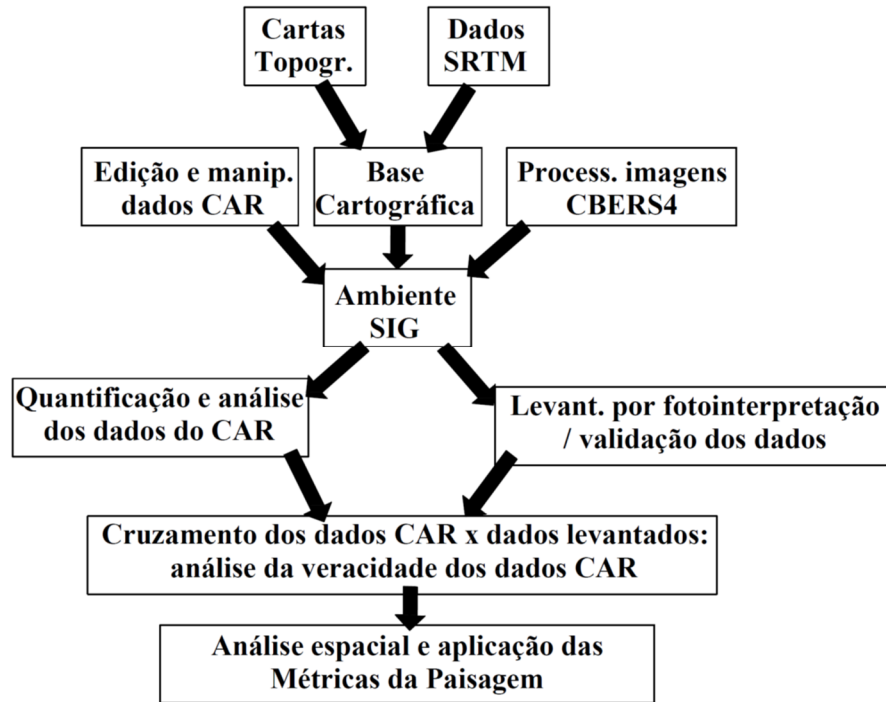
3.2 PROCEDIMENTOS

Os procedimentos operacionais consistiram no uso dos produtos do SR e da cartografia, além da aplicação das ferramentas dos SIGs e das técnicas de geoprocessamento. Para alcançar os objetivos propostos desta pesquisa, promoveram-se as atividades de estruturação de base cartográfica, edição e manipulação dos dados vetoriais do CAR e processamento das imagens CBERS4, o que possibilitou a montagem de um ambiente SIG para a análise dos dados do CAR e o levantamento dos FVNs por meio de imagens orbitais.

Com os produtos destas atividades, foi possível quantificar e verificar os dados do CAR na bacia, entrecruzar essas informações com os dados obtidos por SR, submeter os resultados às técnicas de análise espacial por meio do QGIS e relacionar os dados produzidos às métricas espaciais, calculadas pelo Patch Analyst e Fragstats.

A Figura 12 ilustra um resumo da estrutura metodológica proposta na presente investigação:

Figura 12 – Fluxograma da estrutura metodológica



Fonte: Elaboração do autor.

O detalhamento dos procedimentos operacionais é dividido em conformidade às seguintes etapas:

- Aquisição de base cartográfica e delimitação da área de estudo.
- Aquisição, processamento e manipulação das imagens do satélite CBERS4.
- Aquisição, processamento e manipulação dos dados SRTM.
- Aquisição e manipulação dos dados vetoriais do CAR.
- Montagem de um ambiente SIG.
- Fotointerpretação e vetorização manual dos FVNs.
- Trabalho de campo e validação de dados.
- Análise espacial, quantificação e Métricas das Paisagens.

3.2.1 Aquisição de base cartográfica e delimitação da área de estudo

As cartas topográficas de escala 1:25.000, em formato digital matricial, foram manipuladas no programa QGIS. Aplicou-se a conversão do sistema de projeção das coordenadas UTM SAD69 para o sistema UTM SIRGAS2000 por meio da ferramenta “Reprojetar coordenadas”. Posteriormente, as cartas dos elementos referentes à hidrografia, hipsometria e toponímia foram vetorizadas para compor a base cartográfica desta pesquisa.

Ainda por meio do QGIS, os vetores criados foram sobrepostos a partir das cartas topográficas à rede hipsométrica dos dados SRTM. Compôs-se uma base cartográfica para delimitar a bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho via vetorização manual, com a criação de um arquivo *shapefile* no formato vetorial polígono.

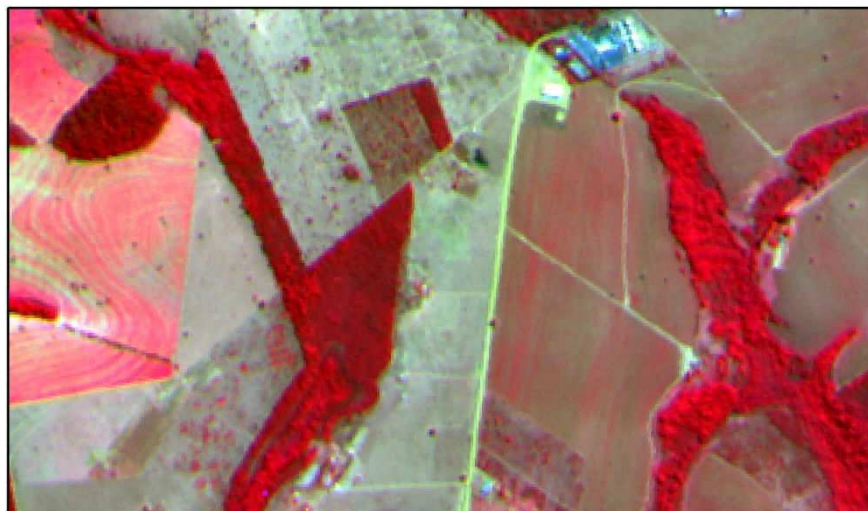
3.2.2 Aquisição, processamento e manipulação das imagens do satélite CBERS4

Por meio do catálogo de imagens da página eletrônica do INPE, obtiveram-se duas cenas do satélite CBERS4 suficientes para o recobrimento da área de estudo. Foram selecionadas as cenas das bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor PAN, com resolução espacial de 5 e 10 metros. Escolheram-se as datas de imageamento das cenas em período próximo à data de aquisição dos dados vetoriais do CAR.

O processamento das cenas foi realizado por meio do programa ENVI, em que primeiramente se verificaram a acurácia geométrica e o sistema de projeção. As imagens foram reprojctadas para o sistema de projeção UTM, no fuso 22 Sul e referencial geocêntrico SIRGAS2000.

Posteriormente, foram empilhadas as bandas para composição colorida RGB falsa-cor. Configurou-se a banda 4 para o vermelho, a banda 3 para o verde e a banda 2 para o azul, resultando na composição colorida RGB 432 (Figura 13), com vistas a destacar a vegetação de maior densidade em cor vermelha, o que facilita sua identificação.

Figura 13 – Recorte de uma cena do sensor PAN10M, do satélite CBERS4*



*Composição: corioria RGB432.
Fonte: Elaboração do autor.

Para adequar o produto cartográfico à escala de mapeamento almejada nesta pesquisa, foi necessária a banda pancromática PAN5M (banda 1), de resolução espacial de 5 metros, com a técnica de fusão de bandas que, por seu turno, converte o tamanho do pixel da imagem de 10 para 5 metros e altera a resolução espacial da imagem – por meio desta técnica, adequa-se o produto cartográfico para um mapeamento na escala de 1:25.000. O procedimento foi realizado com o programa ENVI, por meio da ferramenta “Image Sharpening/HSV”.

3.2.3 Aquisição, processamento e manipulação dos dados SRTM

Cenas dos dados SRTM embasaram o modelo topográfico da área de estudo, de modo a permitir a identificação georreferenciada dos interflúvios que delimitam as bacias hidrográficas. Por meio do QGIS, efetuaram-se o recorte das cenas para a área de interesse e a reprojeção para o sistema UTM Sirgas 2000 com as ferramentas “Recortar *raster* pela extensão” e “Reprojetar coordenadas”, respectivamente.

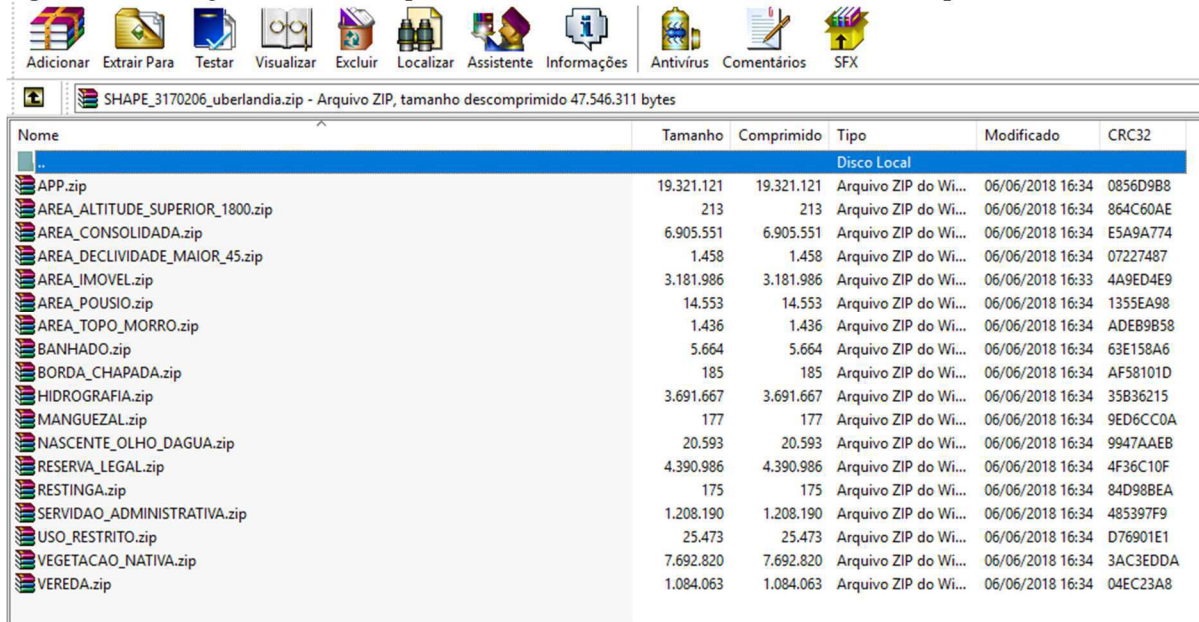
Após a edição do *raster*, foram extraídos os dados altimétricos da imagem por meio da ferramenta “Contorno”, com a obtenção de curvas hipsométricas com equidistância de 10 metros. Nesse procedimento, gerou-se um arquivo vetorial, em formato *shapefile*, a ser utilizado na delimitação das bacias hidrográficas.

3.2.4 Aquisição e manipulação dos dados vetoriais do CAR

O portal eletrônico do SICAR disponibiliza os dados cartográficos em formato vetorial de todos os cadastros já efetuados, discriminados por município. Obtiveram-se as informações, em formato *shapefile*, de Monte Alegre de Minas e Uberlândia em 22 de agosto de 2018, marco temporal de análise desta pesquisa. Tais dados constituem polígonos georreferenciados das delimitações das áreas declaradas como perímetro do imóvel, áreas de vegetação nativa, RLs, APPs, recursos hídricos, áreas rurais consolidadas e áreas de servidão administrativa.

Os arquivos em formato *shapefile* são organizados conforme as categorias de temas estabelecidos no sistema de cadastro (Figura 14). Considerou-se relevante a utilização apenas das categorias “APP”, “AREA_CONSOLIDADA”, “AREA_IMOVEL”, “RESERVA_LEGAL” e “VEGETACAO_NATIVA”. Foram descartados os dados que não fazem referência ao objeto, como as áreas de servidão administrativa e os recursos hídricos.

Figura 14 – Categorização dos arquivos vetoriais do CAR, referentes ao município de Uberlândia/MG



Nome	Tamanho	Comprimido	Tipo	Modificado	CRC32
Disco Local					
..					
APP.zip	19.321.121	19.321.121	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	0856D988
AREA_ALTITUDE_SUPERIOR_1800.zip	213	213	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	864C60AE
AREA_CONSOLIDADA.zip	6.905.551	6.905.551	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	E5A9A774
AREA_DECLIVIDADE_MAIOR_45.zip	1.458	1.458	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	07227487
AREA_IMOVEL.zip	3.181.986	3.181.986	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:33	4A9ED4E9
AREA_POUSIO.zip	14.553	14.553	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	1355EA98
AREA_TOPO_MORRO.zip	1.436	1.436	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	ADEB9B58
BANHADO.zip	5.664	5.664	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	63E158A6
BORDA_CHAPADA.zip	185	185	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	AF58101D
HIDROGRAFIA.zip	3.691.667	3.691.667	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	35B36215
MANGUEZAL.zip	177	177	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	9ED6CC0A
NASCENTE_OLHO_DAGUA.zip	20.593	20.593	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	9947AAEB
RESERVA_LEGAL.zip	4.390.986	4.390.986	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	4F36C10F
RESTINGA.zip	175	175	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	84D98BEA
SERVIDAO_ADMINISTRATIVA.zip	1.208.190	1.208.190	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	485397F9
USO_RESTRITO.zip	25.473	25.473	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	D76901E1
VEGETACAO_NATIVA.zip	7.692.820	7.692.820	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	3AC3EDDA
VEREDA.zip	1.084.063	1.084.063	Arquivo ZIP do Wi...	06/06/2018 16:34	04EC23A8

Fonte: Elaboração do autor, com base nos dados obtidos no CAR (2019).

Para a organização e a análise dos dados vetoriais de RL, não houve diferenciação quanto à regularidade. Conforme discriminado nos metadados dos polígonos cadastrados, a RL pode ser declarada como “proposta”, “averbada”, “aprovada e não averbada” ou “vinculada à compensação de outro imóvel”. Todos esses tipos de situação foram considerados unicamente como área de RL, sem separar as RLs devidamente regularizadas junto ao órgão ambiental daquelas apenas propostas no momento do cadastro do imóvel rural no SICAR.

Após o *upload* dos arquivos no ambiente SIG do programa QGIS, os arquivos foram editados e manipulados, em que se descartaram todos os polígonos não situados em área de interseção com a bacia hidrográfica delimitada. A ferramenta utilizada foi “Selecionar por localização”, que permitiu escolher apenas os vetores localizados nas áreas de interesse.

Em função de visíveis falhas topológicas apresentadas pelos dados vetoriais do CAR, principalmente a sobreposição de polígonos de mesma categoria, notou-se a necessidade de alterar os dados para adequação metodológica desta pesquisa, com o escopo de evitar o cálculo de áreas duplicadas, o que poderia alterar os resultados. Dois procedimentos de análise espacial foram aplicados sobre os polígonos dos limites dos imóveis rurais, RLs, APPs e vegetação nativa:

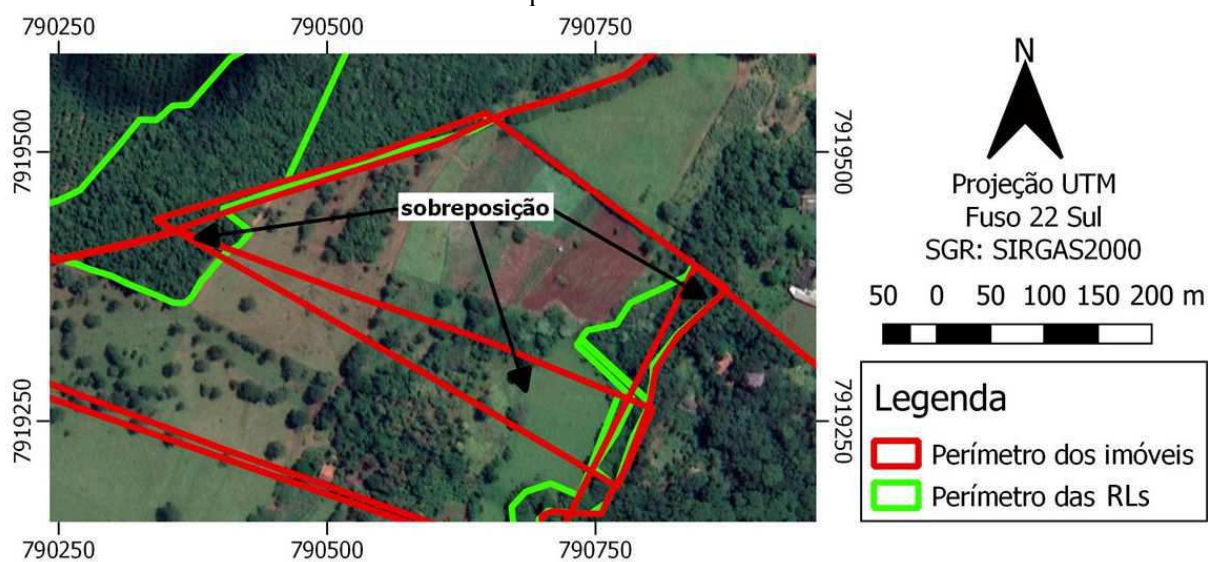
- Delimitação das áreas sobrepostas entre polígonos de mesma classe;
- Unificação dos polígonos sobrepostos de mesma classe.

Primeiramente, foi necessário quantificar o nível de sobreposição dos polígonos das feições, ao considerar que se originam de diferentes cadastros no SICAR. Essa análise forneceu

informações importantes sobre a qualidade cartográfica dos dados cadastrados, sobretudo no que tange à topologia, em que se limitou ao perímetro cadastrado dos imóveis e RLs.

Utilizou-se a ferramenta “Polygon self-intersection”, disponível no módulo “SAGA” do QGIS, para gerar polígonos que representam as áreas de sobreposição entre feições de mesma categoria (Figura 15). Com isso, obtiveram-se dois arquivos *shapefile*, relativos às sobreposições entre os limites dos imóveis rurais e os dos fragmentos de RL. A partir disso, foi possível mensurar valores quantitativos de área, com vistas a avaliar a qualidade cartográfica dos dados declarados no CAR.

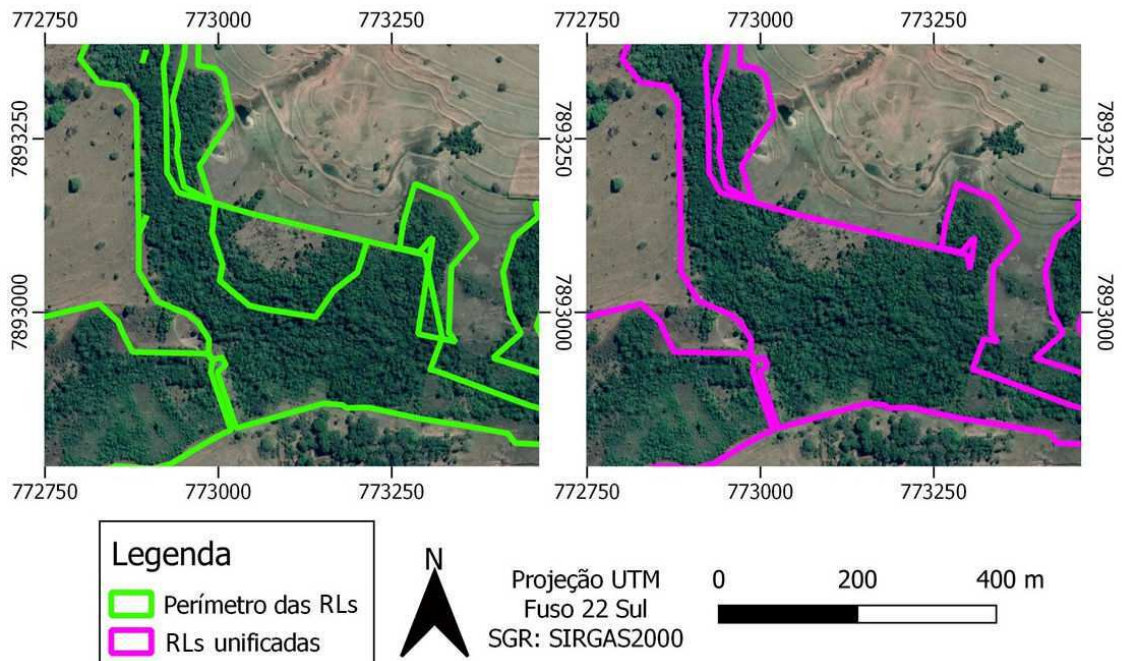
Figura 15 – Exemplo de sobreposição de polígonos cadastrados apresentados pelo arquivo *shapefile* do município de Uberlândia/MG



Fonte: Elaboração do autor.

Outro procedimento necessário diz respeito à unificação de polígonos sobrepostos ou contíguos, com a respectiva conversão para um fragmento único – tal operação foi aplicada a todos os polígonos dos arquivos vetoriais do SICAR. Efetuou-se uma alteração nos limites das feições para conectá-las por meio das áreas sobrepostas, conforme a Figura 16. A modificação desses polígonos os adequou para que, posteriormente, fossem aplicados os cálculos estatísticos e as métricas espaciais sobre eles.

Figura 16 – Exemplo de unificação de polígonos de RL sobrepostos ou contíguos

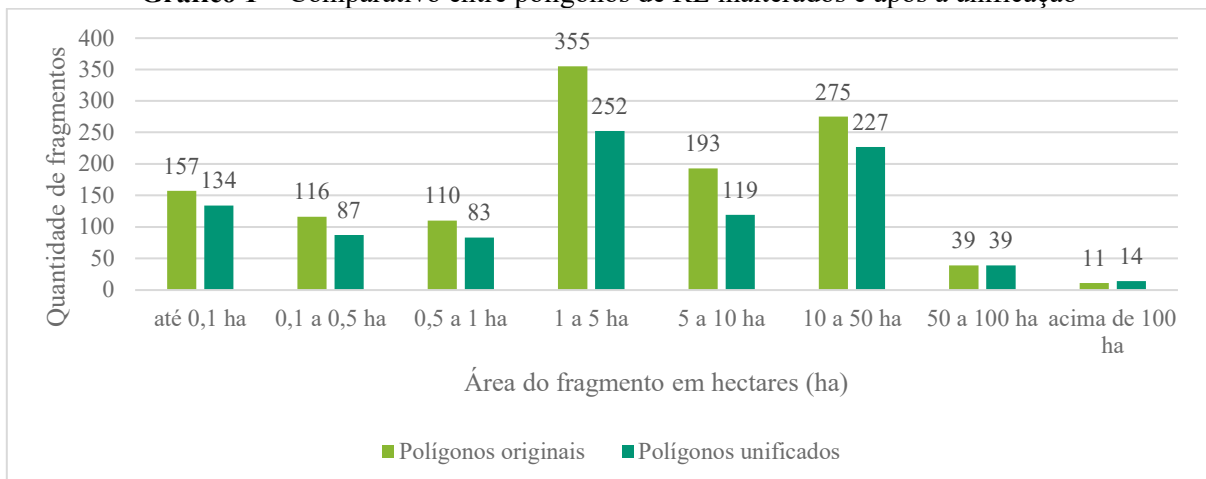


Fonte: Elaboração do autor.

Empregou-se a ferramenta de edição vetorial “união...” do QGIS para gerar um novo arquivo *shapefile* representativo da extensão real das áreas ocupadas por categoria. Impediu-se, assim, o cálculo duplicado das áreas para calcular as métricas espaciais de maneira correta. Como resultado, foram gerados novos polígonos unificados espacialmente, sem dividi-los divididos a partir das delimitações originais, mas sim por meio da descontinuidade espacial.

O Gráfico 1 mostra um comparativo entre o número de polígonos originais de RL (inalterados, com ocorrência de sobreposições) e a quantidade de polígonos após a unificação. Houve redução do número total de RLs na bacia, de 1.257 para 955 fragmentos, e, consequentemente, diminuição no valor da área total ocupada por eles.

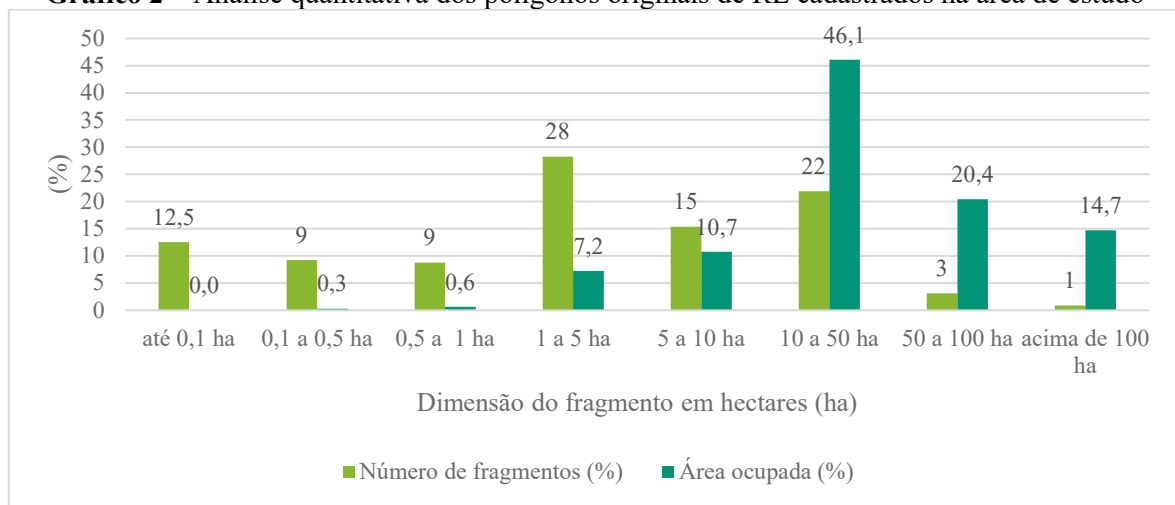
Gráfico 1 – Comparativo entre polígonos de RL inalterados e após a unificação



Fonte: Elaboração do autor.

Outra análise quantitativa dos polígonos originais do CAR, referente às RLs na bacia do Ribeirão Douradinho, constatou que fragmentos com até 5.000 m² representam 21,5% do total cadastrado; contudo, estes constituem apenas 0,3% da área total cadastrada como RL. O Gráfico 2 mostra a proporção do número de polígonos de RL e a área ocupada na bacia, categorizados por área. Ressalva-se que tais dados se referem aos polígonos inalterados do CAR, sem considerar as sobreposições.

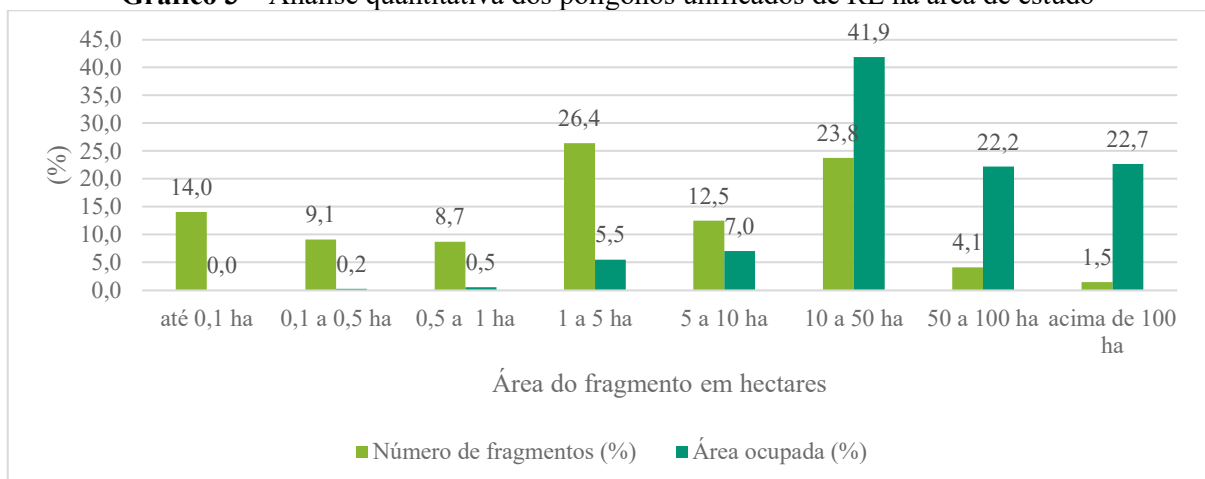
Gráfico 2 – Análise quantitativa dos polígonos originais de RL cadastrados na área de estudo



Fonte: Elaboração do autor.

Mesmo com a unificação dos polígonos sobrepostos ou contíguos, fragmentos com área de até 5.000 m² continuaram a representar uma fração importante do número total de polígonos de RL (Gráfico 3). Os fragmentos de RL de até 5.000 m², cuja dimensão pode ser considerada irrelevante sob o ponto de vista da função ambiental da RL, ainda indicaram 23,1% do total de polígonos, mas também 0,3% da área total cadastrada por RL.

Gráfico 3 – Análise quantitativa dos polígonos unificados de RL na área de estudo



Fonte: Elaboração do autor.

Tal condição impacta diretamente na metodologia desta pesquisa. A variável quantitativa “número total de fragmentos” compõe as fórmulas de cálculo de grande parte das métricas espaciais aplicadas sobre as RLs. Nesse sentido, a utilização de todos os fragmentos de RL, sem considerar a dimensão mínima, comprometeria significativamente os resultados das métricas espaciais.

Em consulta a técnicos do Instituto Estadual de Florestas (IEF) no escritório regional de Uberlândia, ente público responsável pelo controle e fiscalização das RLs na área de estudo, fragmentos de RL abaixo de 5.000 m² raramente são objeto de deferimento nos processos convencionais de regularização. Porém, a regularização da RL por meio do CAR, até o momento, permite delimitar fragmentos com qualquer valor de área, a critério do cadastrante.

Na legislação, não existe atualmente alguma norma que determine uma área mínima ou ideal para um fragmento de RL, mas há critérios que podem viabilizar a criação de uma RL com área pouco significativa. A conexão espacial do pequeno fragmento com outras RLs, APPs, remanescentes florestais, áreas de fragilidade ambiental ou de interesse ecológico pode viabilizar a constituição de uma RL com área considerada insignificante.

Ao considerar que a fração mínima de parcelamento rural na área de estudo possui o valor de 20.000 m² (2,0 ha), pressupõe-se que um imóvel dessa dimensão teria que manter 20% de sua área como RL, ou seja, 4.000 m². Não necessariamente, toda a área de RL seria distribuída em um único fragmento no imóvel, e de modo paralelo, o atual CFB (BRASIL, 2012b) permite, em determinadas circunstâncias, áreas de RL abaixo da proporção mínima em relação à área do imóvel (ver item 2.2). Porém, fragmentos menores que 4.000 m² não teriam muita significância sob o ponto de vista da contribuição ambiental da RL.

Portanto, ao se fundamentar na necessidade de se adequar os dados de RL aos objetivos da pesquisa, adotou-se o valor mínimo de 4.000 m² a ser considerado na aplicação das métricas espaciais. Nessa etapa de manipulação dos dados vetoriais do CAR foram descartados os fragmentos com dimensão abaixo deste valor – aplicou-se tal critério de área mínima também para os FVNs e as APPs.

3.2.5 Montagem de um ambiente SIG

Essa etapa pressupõe que os arquivos *raster* das imagens de satélite, assim como os vetoriais das bacias hidrográficas delimitadas e do CAR, estejam corretamente configurados para serem trabalhados no ambiente SIG – a compatibilidade espacial entre tais informações é

fundamental para os resultados desta pesquisa. No programa QGIS, o sistema de projeção adotado foi o UTM fuso 22 sul, cujo referencial geocêntrico é o SIRGAS2000.

Efetuiu-se a sobreposição entre as imagens CBERS4, o polígono da bacia e os polígonos do SICAR. A partir desse ambiente, foi possível visualizar as características da vegetação exposta pelas imagens no interior dos polígonos de RL e das áreas declaradas como vegetação nativa. Convém salientar que foi utilizada a escala de visualização e mapeamento de 1:25.000.

A estrutura montada no ambiente SIG do QGIS proporcionou a aplicação das técnicas de geoprocessamento, no que tange à criação de dados vetoriais a partir de delimitações de feições das imagens, realizadas de forma manual, assim como à aplicação de análises espaciais sobre os vetores. Com a análise espacial, visou-se obter dados quali e quantitativos das áreas de interesse (RLs e FVNs declarados), de modo a diagnosticar se elas detêm vegetação nativa, conforme as exigências da legislação ambiental, além de caracterizar a distribuição espacial.

Resultados almejados nesta pesquisa proveram da identificação/caracterização das áreas com ou sem vegetação nativa no interior de RLs e FVNs declarados. Portanto, a criação do ambiente SIG permitiu espacializar e mensurar as informações de modo bastante eficaz. A confecção e a edição dos mapas representativos dos resultados também foram realizadas nesse ambiente computacional.

3.2.6 Fotointerpretação e vetorização manual dos FVNs

Realizou-se um levantamento dos FVNs na bacia, incluindo o detalhamento interno das áreas de RL, no qual se adotaram duas classes com a seguinte diferenciação: “área com vegetação nativa”, para as áreas de vegetação em bom estado de conservação; e “área sem vegetação nativa”, para as demais áreas.

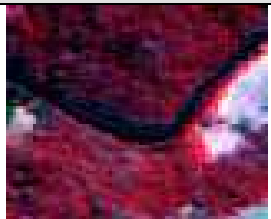



A composição colorida RGB 432 da imagem do sensor PAN do satélite CBERS4 destacou a vegetação nativa na cor vermelha, mas outros elementos fotointerpretativos também foram utilizados na identificação e vetorização das classes de vegetação. Com o auxílio das curvas hipsométricas e da rede de drenagem obtidas por meio da base cartográfica, a identificação das fitofisionomias relacionadas à hidrografia e às áreas úmidas foi facilitada, em que se descartaram as fitofisionomias representativas de áreas secas ou bem drenadas.

Foi elaborada uma chave de interpretação para a imagem CBERS4, sensor PAN, composição colorida falsa-cor 4R3G2B (Quadro 5). Criaram-se classes de mapeamento para

identificar somente as fitofisionomias da vegetação consideradas de vegetação nativa. Com a exceção da silvicultura, que pode ser facilmente confundida com fragmentos florestais nativos nas imagens CBERS4, descartou-se a necessidade de identificar outras classes que não se caracterizam como vegetação nativa, a exemplo de culturas anuais ou perenes, pastagens, áreas urbanas, represas etc. Tais elementos foram agrupados na classe “área sem vegetação nativa”.

Classes mapeadas abrangeram as “formações florestais” (mata de galeria, mata ciliar e cerrado) e “formações savânicas” (cerrado sentido restrito, veredas e áreas hidromórficas):

Quadro 5 – Chave de interpretação das imagens CBERS4

Classe	Fitofisionomia	Cor	Textura	Forma	Localização	Amostra
Formações florestais	Mata de Galeria e Ciliar	Vermelho-escuro.	Rugosa	Irregular	Adjacente a cursos d'água	
	Cerradão			Regular, bem delimitado	Nos interflúvios	
Formações savânicas e campestres	Cerrado sentido restrito	Manchas em vermelho e ciano escuro. Variação nas tonalidades.	Rugosa	Regular	Nos interflúvios	
	Vereda e áreas hidromórficas	Predominância de ciano escuro, com manchas nas cores vermelho e verde azulado.	Pouco rugosa	Linear, bordas arredondadas	Em cabeceiras ou adjacências de cursos d'água	

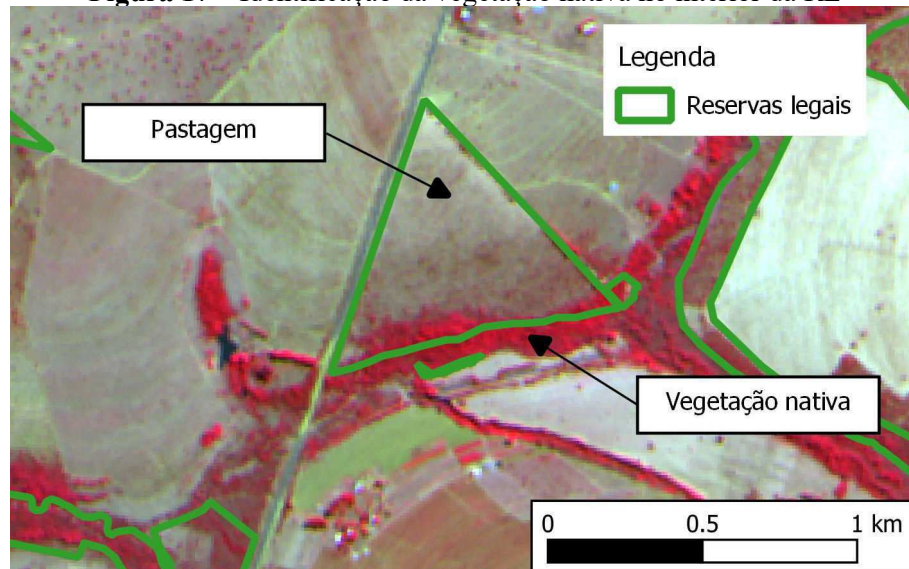
Fonte: Elaboração do autor.

A identificação das formações de vegetação nativa nas imagens CBERS4 (Figura 17) seguiu as etapas de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação. Os elementos fotointerpretativos como cor, tonalidade, textura, forma, tamanho e localização proporcionaram a elaboração de uma chave de interpretação que permitiu identificar áreas com vegetação nativa para o bioma cerrado.

Nesse contexto, delimitaram-se tais áreas por meio da vetorização manual, em que os limites dos fragmentos identificados por fotointerpretação foram demarcados sobre a imagem digital com as ferramentas gráficas de desenho e edição de vetores (polígonos). A interpretação

visual e a vetorização manual foram feitas no programa QGIS, pela ferramenta “Add polygon feature” (adicionar feição de polígono). Adotou-se a escala 1:25.000 no mapeamento, determinada em virtude da resolução espacial das imagens orbitais CBERS4.

Figura 17 – Identificação da vegetação nativa no interior da RL



Fonte: Elaboração do autor.

Constituídas por formações florestais e savânicas, as feições mapeadas na área de estudo foram agrupadas em uma única classe, pois caracterizam ambientes de vegetação nativa do bioma cerrado. Procurou-se delimitar as formações florestais nas quais predominam espécies arbóreas com formação de dossel, o que, segundo Ribeiro e Walter (1998), é classificado como fitofisionomias de mata de galeria e mata ciliar, associadas a cursos d’água e fundos de vale e cerradão nos interflúvios. As formações savânicas, que possuem extratos arbóreo e arbustivo-herbáceo, com árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno em diferentes densidades, são identificadas como fitofisionomias de cerrado sentido restrito e veredas (RIBEIRO; WALTER, 1998).

A conclusão dessa etapa resultou na criação de um arquivo vetorial composto por polígonos que distinguem áreas com presença de vegetação nativa e áreas desprovidas dela, com o estabelecimento de duas classes: “áreas com vegetação nativa” e “áreas sem vegetação nativa”. De fato, a sobreposição deste levantamento com as RLs e FVN cadastrados no CAR permitiu identificar as áreas não caracterizadas com vegetação nativa, mas cadastradas como tal, por meio das ferramentas de análise espacial.

3.2.7 Validação dos dados e pesquisa de campo

Após o levantamento das áreas de vegetação nativa, foi necessário verificar a qualidade dos dados obtidos. Rosa (2009) relata que um mapa temático deve ter confiabilidade estatística para representar o mundo real, cuja qualidade é avaliada em termos de precisão e exatidão. O primeiro termo se refere a quanto a área de uma categoria levantada reflete a verdade em campo, e o segundo, a quanto uma categoria identificada na imagem está realmente correta.

Para avaliar a exatidão do levantamento, aplicou-se o coeficiente de concordância de Kappa (k). Esse método, comumente utilizado para avaliar a concordância entre um mapa temático e a verdade terrestre, é elaborado a partir de dados coletados em campo por amostragem, dos quais se verifica o erro ou acerto de uma classe em relação a um ponto no mapa. Valores de Kappa entre 0,0 e 0,2 representam qualidade ruim; 0,2 a 0,4, razoável; 0,4 a 0,6, boa; 0,6 a 0,8, muito boa; e 0,8 a 1,0, excelente (ROSA, 2009). Tal índice é obtido por:

$$k = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c}$$

k = coeficiente de Kappa;

P_o = concordância total;

P_c = proporção de concordância esperada por acaso.

Amostras para aplicação do coeficiente de Kappa foram verificadas por meio de visita de campo e pelas imagens de alta resolução do programa Google Earth Pro. O número de amostras seguiu a metodologia de Rosa (2009), em que é calculado por:

$$N = \frac{4 \cdot p \cdot q}{E^2}$$

N = número de pontos da amostra;

p = percentual de exatidão desejado;

$q = 100 - p$;

E = erro admitido.

Determinou-se que o percentual de exatidão desejado fosse de 90%, com erro admitido de 10%, em que foi obtido o valor mínimo de 36 amostras. Nesta pesquisa, empregaram-se efetivamente 200 pontos de amostragem, verificados por imagens de alta resolução – 10 deles também foram constatados por visita de campo. Os pontos de amostragem foram criados por meio da ferramenta “Pontos Aleatórios nas Bordas da Camada...”, do programa QGIS.

A formatação dos dados e o cálculo do coeficiente de concordância de Kappa ocorreram no programa Microsoft Office Excel (Tabela 3). O resultado do coeficiente para o levantamento das áreas de vegetação nativa foi de 0,81, isto é, o levantamento possui qualidade excelente.

Tabela 3 – Matriz de confusão para o cálculo do coeficiente de concordância de Kappa

		REFERÊNCIA		TOTAL
		VEGETAÇÃO NATIVA	ÁREA CONSOLIDADA	
CLASSIFICAÇÃO	VEGETAÇÃO NATIVA	86	14	100
	ÁREA CONSOLIDADA	5	95	100
TOTAL		91	109	200

Fonte: Elaboração do autor.

Visitas de campo também foram realizadas em momento anterior e durante o levantamento da vegetação por SR. Elas objetivaram ao reconhecimento *in loco* da área e à identificação das fitofisionomias que apresentaram difícil distinção no processo de fotointerpretação. Efetuaram-se duas visitas de campo ao todo, nas quais se coletaram informações por meio de registro fotográfico e de coordenadas com o receptor GNSS Garmin.

3.2.8 Análise espacial, quantificação e Métricas das Paisagens

Nessa etapa foram obtidos os resultados desta pesquisa, cujas informações geradas dos processos de análise espacial e de aplicação das Métricas da Paisagem sobre os dados espaciais permitiram a elaboração de mapas, gráficos e tabelas que subsidiaram a análise, a interpretação dos dados e a discussão dos resultados. O programa QGIS foi utilizado para manipular os dados vetoriais e confeccionar os mapas das bacias, ao passo que o pacote de programas Microsoft Office serviu para elaborar gráficos e tabelas.

Tanto os dados obtidos do CAR quanto os do SR foram convertidos em arquivos vetoriais no formato *shapefile*, feição polígono, para serem submetidos às análises espaciais, conforme o Quadro 6:

Quadro 6 – Organização dos arquivos vetoriais

Origem	Arquivo Shapefile (polígono)
Dados do CAR	Área da bacia
	Área cadastrada (imóveis)
	APP declarada
	Vegetação nativa declarada
	Área consolidada declarada
	RL declarada
Dados do levantamento	Vegetação nativa
	RL identificada com vegetação nativa
	RL identificada sem vegetação nativa

Fonte: Elaboração do autor.

Diante dos dados espaciais (polígonos) cadastrados no SICAR e das informações constantes no levantamento, foi possível obter as áreas de cada feição e realizar operações geométricas concernentes à topologia de vetores, envolvendo a relação booleana de interseção entre polígonos. No programa QGIS, os cálculos foram executados por meio das ferramentas “Calculadora de campo”, para obtenção das áreas dos polígonos; e “Interseção...”, para gerar novos polígonos a partir dos vetores originais do SICAR, de modo a quantificar os dados listados no Quadro 7:

Quadro 7 – Organização dos polígonos criados

Origem dos dados		Polígonos criados
Dados do SICAR	Imóveis	Área total de imóveis cadastrados.
		Área total de sobreposições entre os perímetros dos imóveis.
	Cobertura do solo	Área total cadastrada como remanescente de vegetação nativa.
		Área total cadastrada como área rural consolidada.
		Área total sem cadastro de cobertura do solo.
	Reserva legal	Área total de RLs cadastradas.
		Área total de sobreposições entre os perímetros de RL.
		Área de RL cadastrada em APP e fora da APP.
		Área total de áreas protegidas cadastradas (RLs e APPs).
		Área total de RLs cadastradas sobre remanescente de vegetação nativa.
		Área total de RLs cadastradas sobre área rural consolidada.
	Levantamento	Área total de remanescentes de vegetação nativa.
Área total sem presença de vegetação nativa.		

Fonte: Elaboração do autor.

Analiticamente, foi possível contrapor os dados cadastrados no CAR àqueles obtidos por SR, de modo a quantificar a concordância ou a discordância das informações. Aplicou-se a operação geométrica de interseção entre os polígonos, referentes aos FVNs constantes no levantamento sobre os dados de cobertura do solo e RL cadastrados no CAR. Como resultado, houve novos polígonos que representaram os FVNs e RLs declarados como verdadeiros, falsos ou incorretos, além da cobertura do solo sem informações.

O Quadro 8 representa uma matriz que sintetiza as categorias de polígonos criados a partir do comparativo dos dados, cujo objetivo foi mensurar a veracidade das informações declaradas no CAR referente aos FVNs e RLs. As classes de polígonos foram denominadas de acordo com a concordância/discordância das informações, a saber:

- **Vegetação nativa verdadeira:** área de interseção entre os polígonos dos remanescentes de vegetação nativa cadastrados e as áreas identificadas por SR com vegetação nativa.
- **Vegetação nativa falsa:** área de interseção entre os polígonos dos remanescentes de vegetação nativa cadastrados e as áreas identificadas por SR sem vegetação nativa.
- **Vegetação nativa sem informação:** área de interseção entre os polígonos cadastrados sem informação de cobertura do solo e as áreas identificadas por SR com vegetação nativa.
- **Área consolidada verdadeira:** área de interseção entre os polígonos de área consolidada cadastrados e as áreas identificadas por SR sem vegetação nativa.
- **Área consolidada falsa:** área de interseção entre os polígonos de área consolidada cadastrados e as áreas identificadas por SR com vegetação nativa.
- **Área consolidada sem informação:** área de interseção entre os polígonos cadastrados sem informação de cobertura do solo e as áreas identificadas por SR sem vegetação nativa.
- **RL nativa verdadeira:** área de interseção entre os polígonos de RL cadastrados sobre os remanescentes de vegetação nativa e as áreas identificadas por SR com vegetação nativa.
- **RL nativa falsa:** área de interseção entre os polígonos de RL cadastrados sobre os remanescentes de vegetação nativa e as áreas identificadas por SR sem vegetação nativa.
- **RL nativa sem informação:** área de interseção entre os polígonos de RL cadastrados sem informação de cobertura do solo e as áreas identificadas por SR com vegetação nativa.
- **RL não nativa verdadeira:** área de interseção entre os polígonos de RL cadastrados sobre a área consolidada e as áreas identificadas por SR sem vegetação nativa.
- **RL não nativa falsa:** área de interseção entre os polígonos de RL cadastrados sobre a área consolidada e as áreas identificadas por SR com vegetação nativa.
- **RL não nativa sem informação:** área de interseção entre os polígonos de RL cadastrados sem informação de cobertura do solo e as áreas identificadas por SR sem vegetação nativa.

Quadro 8 – Classes criadas a partir do comparativo dos dados do SICAR com dados do levantamento

Comparativo dos resultados das áreas de vegetação nativa na bacia			
Classes analisadas		Dados do levantamento por SR	
		Com vegetação nativa	Sem vegetação nativa
Dados do CAR	Remanescente de vegetação nativa	Vegetação nativa verdadeira	Vegetação nativa falsa ou incorreta
	Área consolidada	Área consolidada verdadeira	Área consolidada falsa ou incorreta
	Sem cobertura do solo	Vegetação nativa sem informação	Área consolidada sem informação
Comparativo dos resultados das áreas de RL na bacia			
Classes analisadas		Dados do levantamento por SR.	
		RL com vegetação nativa	RL sem vegetação nativa
Dados do SICAR	RL com vegetação nativa	RL nativa verdadeira	RL nativa falsa ou incorreta
	RL sem vegetação nativa	RL não nativa verdadeira	RL não nativa falsa ou incorreta
	RL sem cobertura do solo	RL nativa sem informação	RL não nativa sem informação

Fonte: Elaboração do autor.

Com a criação dos polígonos categorizados conforme os critérios acima, pode-se mensurar diversas métricas espaciais. Informações como área real ocupada por RLs e APPs, áreas protegidas com necessidade de recuperação, formação de fragmentos de vegetação nativa (protegidos ou não), forma, distribuição espacial, tamanho médio dos fragmentos, dentre outras puderam ser obtidas por meio das Métricas da Paisagem. Elas foram aplicadas sobre os polígonos de RL, os polígonos das áreas protegidas (RLs e APPs) e os polígonos de vegetação nativa (incluindo as áreas protegidas), de modo a obter informações das características espaciais dos fragmentos de cada categoria.

Em dois programas se utilizaram as métricas espaciais. Um deles foi a extensão Patch Analyst do programa ArcGIS 10.2.2, para aplicações sobre arquivos vetoriais no formato *shapefile*. Para evitar métodos redundantes, as métricas obtidas nesse programa se limitaram a:

- CA – Área de todas as manchas da classe (ha);
- MPS – Tamanho médio das manchas (ha);
- NumP – Número de fragmentos (adimensional);
- PLAND – Porcentagem da classe na paisagem (%).

Outro programa, Fragstats 4.2, foi utilizado para aplicação somente em arquivos raster. Nesse caso, empregou-se o *software* ArcGIS para converter os arquivos vetoriais para o formato compatível, ou seja, os *shapefiles* foram transformados para o formato *raster* ERDAS image

grid. Nesse caso, converteram-se os dados em arquivos *raster* com tamanho de célula de cinco metros, adequado à escala de levantamento. As métricas obtidas nesse programa foram:

- LPI – Índice do maior fragmento (%);
- MNN – Distância média do vizinho mais próximo (m);
- MPI – Índice de proximidade média (adimensional).

Por meio dessas métricas, visou-se comparar cenários que representam a situação atual de FVNs e RLs na bacia com as situações potenciais de recuperação total das áreas de RL, que seriam somadas aos FVNs atuais. Ao analisar a abrangência espacial atual dos FVNs na bacia, nota-se o potencial de crescimento dessas áreas com a inclusão das áreas protegidas que deveriam ser recuperadas segundo o CFB (BRASIL, 2012b).

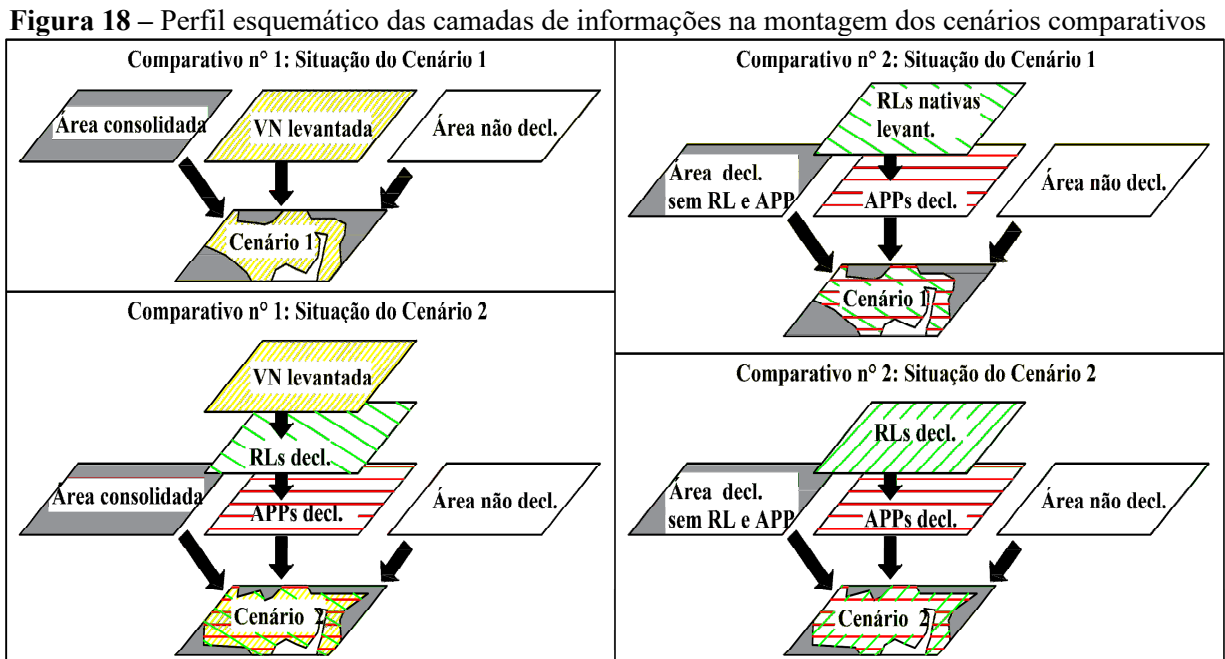
Ao restringir outro cenário às RLs, somente as delimitações sobre áreas com presença de vegetação nativa constituem, de fato, áreas legalmente protegidas que atendem aos requisitos ambientais da legislação. O acréscimo das áreas de RLs passivas de recuperação representaria o potencial de contribuição ambiental dessas áreas que, por sua vez, seriam somadas aos demais FVNs e APPs.

Nesses termos, a abrangência espacial das áreas nativas sobre a paisagem – mensuradas por métricas que avaliam tanto a dimensão total quanto a forma de distribuição dos fragmentos – representa o principal indicador de avaliação da contribuição ambiental dos FVNs e das áreas protegidas. A aplicação das métricas nos diferentes cenários levou à obtenção de valores mensuráveis e passíveis de comparação, o que evidencia e contrapõe a contribuição ambiental real e potencial dos FVNs e RLs. Para tanto, foram realizadas duas análises comparativas:

- Comparativo 1: calcularam-se métricas sobre os polígonos de FVNs levantados na bacia e os polígonos unificados de FVNs levantados, as RLs e APPs declaradas. Nesse caso, foram comparados os resultados obtidos em dois cenários:
 - Cenário 1: polígonos de vegetação nativa real na área declarada, incluindo os FVN presentes nas RLs e APPs.
 - Cenário 2: polígonos de vegetação nativa real na área declarada, somando também as áreas protegidas (RLs e APPs declaradas) localizadas em áreas com e sem vegetação nativa.
- Comparativo 2: calcularam-se as métricas sobre os polígonos de RL com presença de vegetação nativa, justapostos aos polígonos de APP declarados; e sobre os todos os polígonos de RL também justapostos aos polígonos de APP declarados. Aqui se compararam os resultados obtidos em dois cenários:

- Cenário 1: áreas de RL com presença de vegetação nativa e APPs.
- Cenário 2: áreas de RL com e sem presença de vegetação nativa e APPs.

A Figura 18 representa um perfil esquemático das camadas de informação utilizadas para a montagem dos cenários comparativos. Ela permitiu projeções de crescimento dos FVNs ao entrecruzar as informações do CAR com aquelas obtidas com o levantamento por SR:



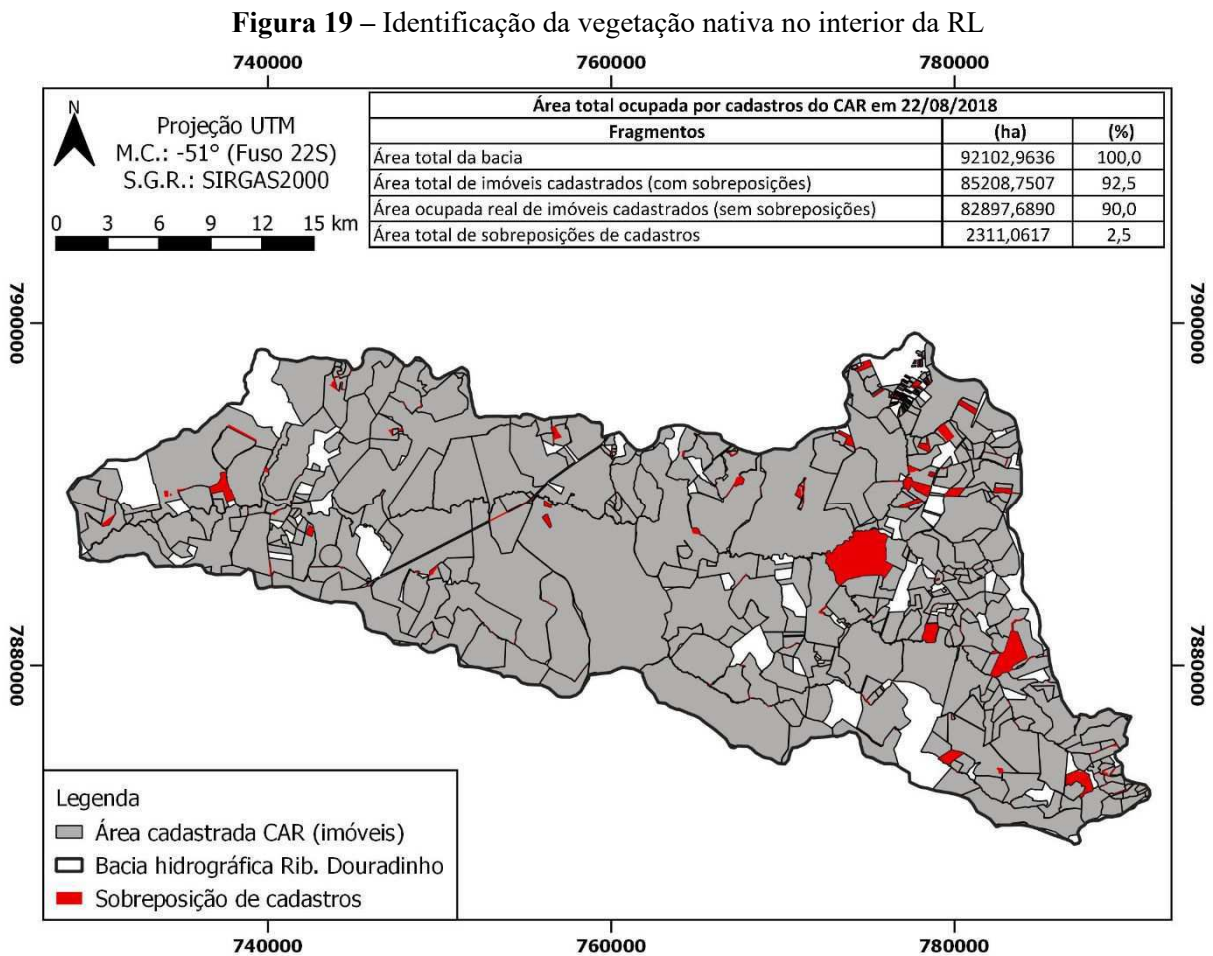
Fonte: Elaboração do autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS DADOS DO CAR

Os primeiros resultados referem-se às análises sobre os dados originais cadastrados no SICAR, de acordo com a data de aquisição dos arquivos vetoriais (22 de agosto de 2018). O objetivo inicial consistiu em avaliar a qualidade cartográfica dos dados espaciais cadastrados, por meio da quantificação de sobreposições dos cadastros de imóveis e polígonos de RL.

A Figura 19 representa a área ocupada pelos imóveis cadastrados na bacia do Ribeirão Douradinho e as respectivas manchas de sobreposição entre os cadastros. Foram consideradas apenas as sobreposições entre imóveis com códigos de cadastro de inscrição distintos, em que se descartaram os casos de sobreposição de polígonos de um mesmo cadastro.



Fonte: Elaboração do autor.

Constatou-se que a área total cadastrada, em se tratando da extensão espacial da bacia, foi de 92,5%, distribuída em 489 cadastros. Porém, com a identificação e o descarte da área

adicional decorrente das sobreposições entre os polígonos de imóveis, alterou-se para 90% o percentual de área cadastrada na bacia; logo, houve divergência de 2,7% da área ocupada real em relação à área total cadastrada. Apesar de parecer uma proporção pequena, esse valor representa 2.311 hectares que, se fossem utilizados nos cálculos estatísticos, comprometeria a obtenção de valores reais. Portanto, todos os valores percentuais de ocupação de RLs, APPs e FVNs sobre a bacia se referem somente à área cadastrada real, o que descarta as ocorrências de sobreposição.

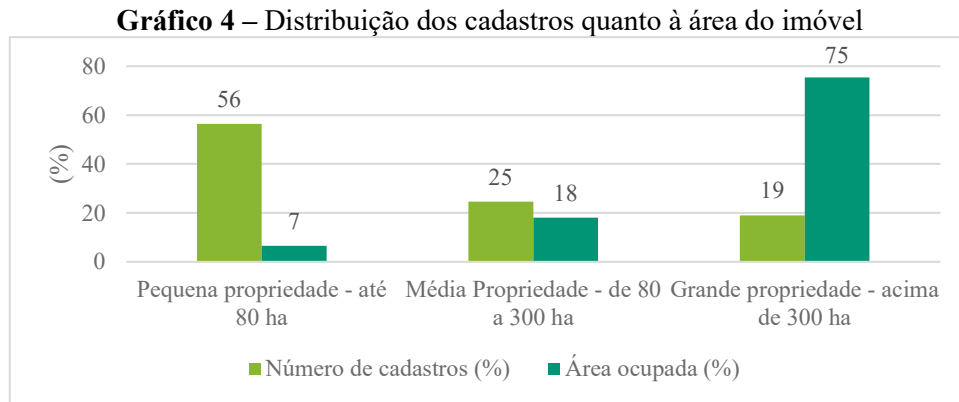
Há diversos motivos que resultam nessas sobreposições, sobretudo o fato de o SICAR não apresentar restrições ao usuário nos procedimentos de delimitação do imóvel. A delimitação do imóvel, feita manualmente sobre a imagem de satélite ou inserida por meio de *upload* do polígono do imóvel no sistema de cadastro, não faz qualquer referência ou consulta aos cadastros confrontantes. Nesse caso, o sistema permite o livre cadastro, mesmo que apresente erros topológicos de delimitação, conversão incorreta de arquivos cartográficos em relação à referência espacial, situações de litígio entre imóveis que resultam em sobreposições intencionais, levantamentos realizados sem precisão ou acurácia adequados e até cadastros de um mesmo imóvel registrados em nome de pessoas físicas e jurídicas diferentes.

Sobreposições entre imóveis são predominantemente formadas por fragmentos com até 0,1 hectare, que constituem 75% dos fragmentos que representam apenas 1% da área total sobreposta. Pode-se considerar que sobreposições com até 0,1 hectares são insignificantes em termos de influenciar relevantemente os resultados, mas 25% dos fragmentos possuem área acima de 0,1 hectares e representam 99% da área total sobreposta – áreas de sobreposição acima desse valor passam a ser relevantes na avaliação da qualidade cartográfica dos dados. Nesse contexto, 28 fragmentos possuem área acima de 10 hectares que, nesse caso, podem representar erros grosseiros de delimitação, situações de litígio ou cadastros duplicados de um mesmo imóvel.

Segundo o Gráfico 4, que representa a distribuição dos cadastros no SICAR quanto ao tamanho dos imóveis, predomina na bacia a ocupação de grandes propriedades rurais, ou seja, imóveis acima de 300 hectares se inserem em 75% da área total cadastrada. As propriedades médias (de 80 a 300 ha) ocupam 18%, e as pequenas (abaixo de 80 ha), apenas 7% na área total cadastrada; todavia, as pequenas propriedades representam 56% do total de cadastros.

Crítérios de classificação fundiária que definem os imóveis rurais entre pequenas, médias ou grandes propriedades advêm da Lei n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993), que estabelece os parâmetros de classificação quanto à área e à região onde o imóvel se

encontra. Não foi considerada nesta análise a ocorrência de parcelamentos (irregulares ou não), cujos lotes estão agrupados sob um único cadastro junto ao CAR.



Fonte: Elaboração do autor.

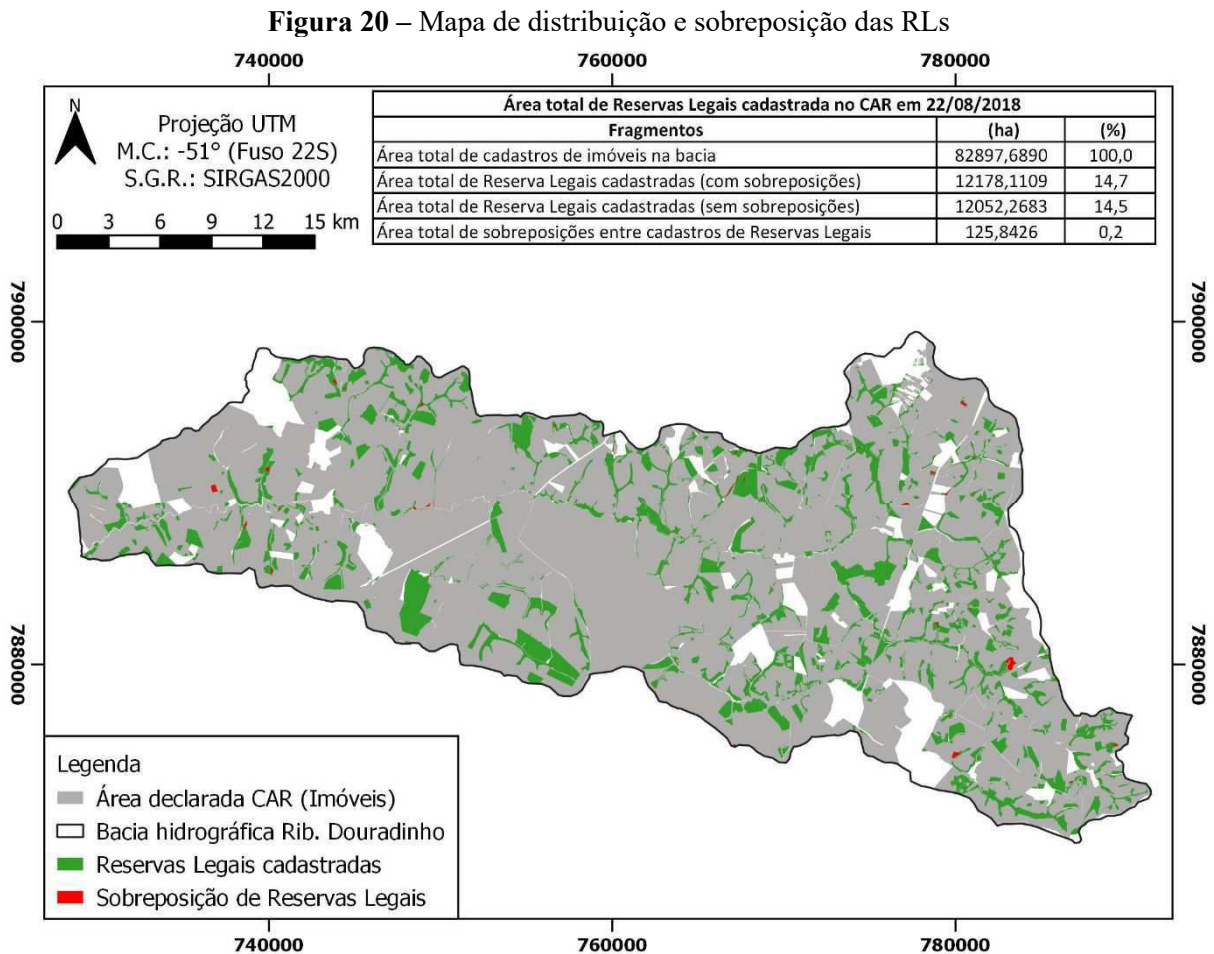
O perfil fundiário dos imóveis rurais na bacia tem grande relevância no contexto das RLs. Segundo o CFB (BRASIL, 2012b), imóveis que detinham, em 22 de julho de 2008, área de até quatro módulos fiscais (80 hectares em Uberlândia e Monte Alegre de Minas) e que possuam remanescente de vegetação nativa em percentuais inferiores ao previsto em lei podem constituir a RL em área ocupada com a vegetação nativa existente em 22 de julho de 2008, vedadas as novas conversões para uso alternativo do solo.

Isso significa que, para a área total cadastrada na bacia de 82,9 mil hectares, a área mínima estabelecida pelo CFB (BRASIL, 2012b) para constituição de RL nos imóveis rurais somaria 16,58 mil hectares, mas, ao considerar o benefício aplicado aos imóveis com até quatro módulos fiscais, essa área seria reduzida para 15,42 mil hectares. Pressupõe-se, assim, que os imóveis abaixo de quatro módulos fiscais não dispõem de vegetação nativa para RL, que nenhum imóvel possua RL compensada em outros imóveis fora da área de estudo e que não haja imóveis dispensados de possuir RL nos casos previstos em lei.

Nesse entremeio, 11 cadastros na bacia não detinham qualquer fragmento de RL no interior – todos os cadastros totalizaram 43,78 hectares, com área menor que um módulo fiscal para cada um. As imagens de satélite em ambiente SIG permitiram identificar o tipo de ocupação e uso desses imóveis, sendo 10 chácaras de recreio e uma antena de comunicação. Em apenas um imóvel identificado como chácara de recreio se constatou a presença real de vegetação nativa, porém sem informar no respectivo cadastro, o que configura uma transgressão ao CFB (BRASIL, 2012b).

A proporção da área ocupada pelos polígonos de RL em relação à bacia foi outro importante objeto de avaliação, dentre os quais, primeiramente, se mensurou a qualidade

cartográfica dos dados espaciais para medir o nível de sobreposição entre os polígonos. A Figura 20 representa as RLs cadastradas na bacia, com destaque para as áreas de sobreposição:



Notou-se que as RLs representam uma porção real de 14,5% de área ocupada em relação à área total cadastrada na bacia, o que difere em apenas 0,2% da área total de RLs cadastradas (14,7%) com sobreposições – essa diferença, que representa 125,84 hectares, resulta da soma total das áreas sobrepostas. Nesse sentido, a discrepância dos dados cadastrados no tocante à área real ocupada por eles é pouco significativa, se comparada com a extensão territorial da bacia. Foram identificados 205 fragmentos de sobreposição entre RLs, dos quais predominam em 65% sobreposições com área de até 0,1 hectare. Em dois casos, as sobreposições entre RLs foram acima de cinco hectares, o que evidencia também situações de litígio ou duplicidade de cadastro.

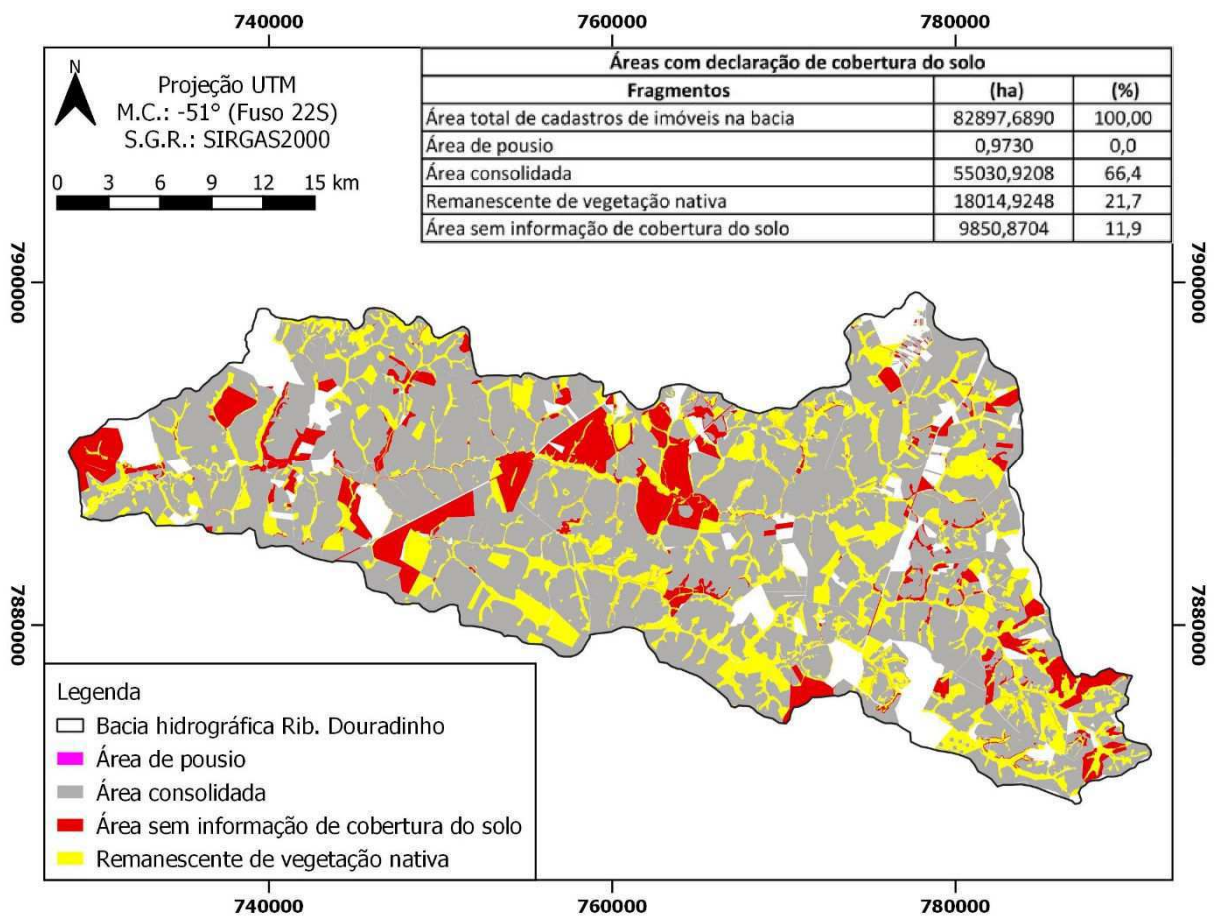
Outro aspecto analisado em relação à qualidade dos dados do CAR consistiu no cadastro dos dados de cobertura do solo no imóvel – basicamente, as tipologias de cobertura que podem ser cadastradas se restringem a elementos como “área consolidada”, “remanescente de

vegetação nativa” e “área de pousio”. Esse plano de informação é sobreposto às informações dos limites das RLs e APPs; a partir daí, são mensuradas as áreas de RL e APP com presença de vegetação nativa ou não, o que repercute diretamente na regularidade ambiental e identificação de passivos no imóvel rural.

Nesse ínterim, o sistema permite o cadastro de RLs e APPs sem que sejam indicados os dados de cobertura do solo no imóvel. Por conseguinte, não é possível avaliar se o imóvel rural se apresenta irregular em relação à presença de vegetação nativa nas áreas protegidas. Portanto, a ausência dos dados de cobertura do solo no imóvel reflete diretamente na qualidade das informações do CAR.

A Figura 21 apresenta as áreas cadastradas de cobertura do solo em relação à área total cadastrada na bacia, cujos 11,9% não possuem informações declaradas de cobertura do solo. Ou seja, há uma área de 9.865 hectares onde não é possível avaliar se as RLs e APPs, quando cadastradas, estão em conformidade com o CFB (BRASIL, 2012b). Áreas de pousio representaram menos de 1% da área, sem dimensão suficiente para ser indicada no mapa.

Figura 21 – Mapa da proporção de cobertura do solo cadastrada na bacia

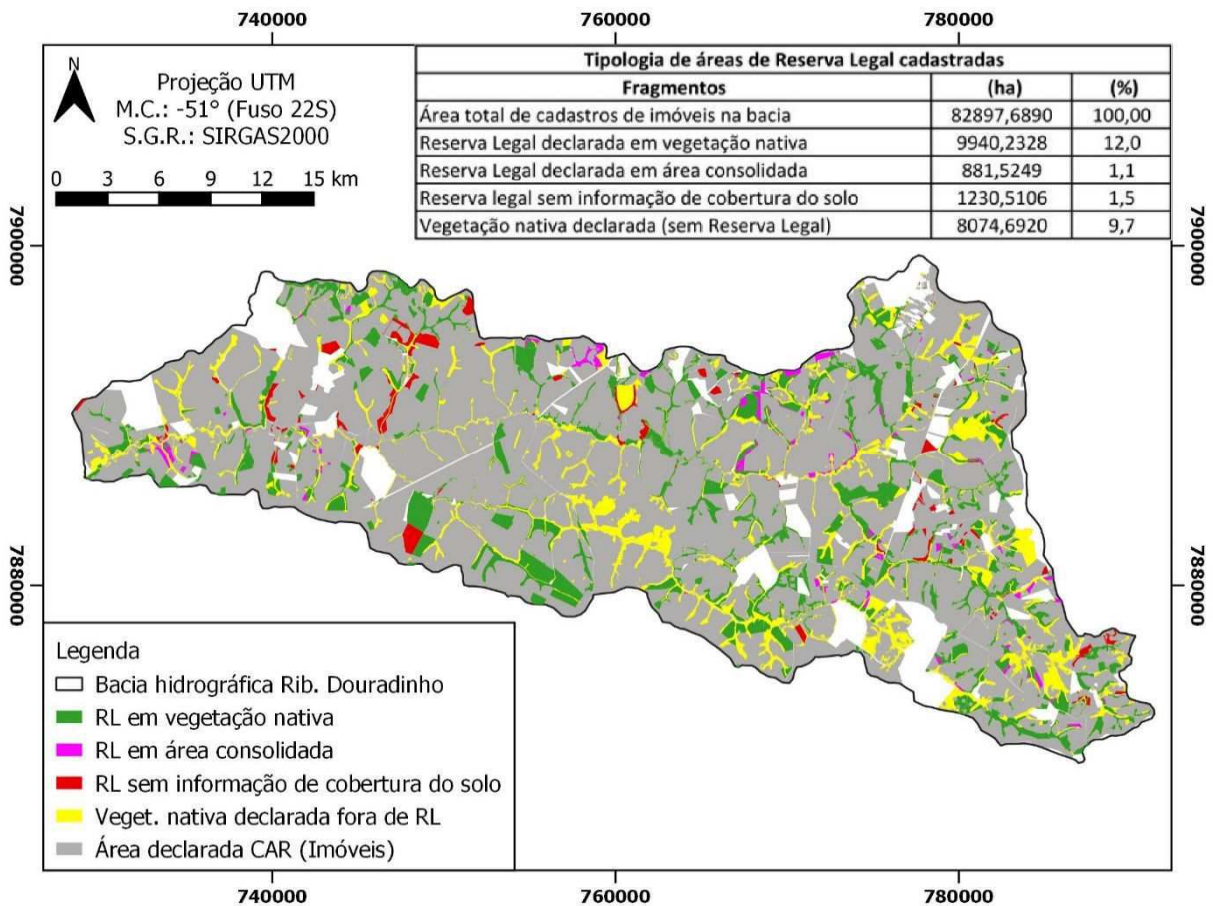


Fonte: Elaboração do autor.

De fato, a ausência de informações acerca da cobertura do solo se deve, principalmente, a preenchimentos incorretos nos cadastros, na etapa de elaboração e no *upload* dos dados cartográficos do imóvel no sistema. O declarante, ao confeccionar as informações espaciais para enviar ao sistema, precisa sobrepor o plano de informação (camada) de cobertura do solo ao plano das RLs e APPs. Contudo, pode-se equivocar em não realizar tal sobreposição, ao separar cada feição individualmente até preencher toda a delimitação do imóvel. Sem haver sobreposição da cobertura do solo com as áreas protegidas, há vazios de informação de cobertura do solo no interior do imóvel.

No tocante à cobertura do solo nas áreas de RL, coube analisar a distribuição em relação ao tipo de cobertura do solo onde ela se encontra. A Figura 22 indica a distribuição das RLs em áreas com vegetação nativa, consolidadas, sem informação de cobertura do solo e declaradas como vegetação nativa sem RL. Dos 12.052 hectares de área constituída por RL, 82,5% estão alocados sobre vegetação nativa; 7,3% representam as RLs que teoricamente necessitam ser recuperadas, pois se encontram em áreas consolidadas; e 10,2% não apresentam informações sobre a cobertura do solo.

Figura 22 – Mapa de tipologias de RLs declaradas

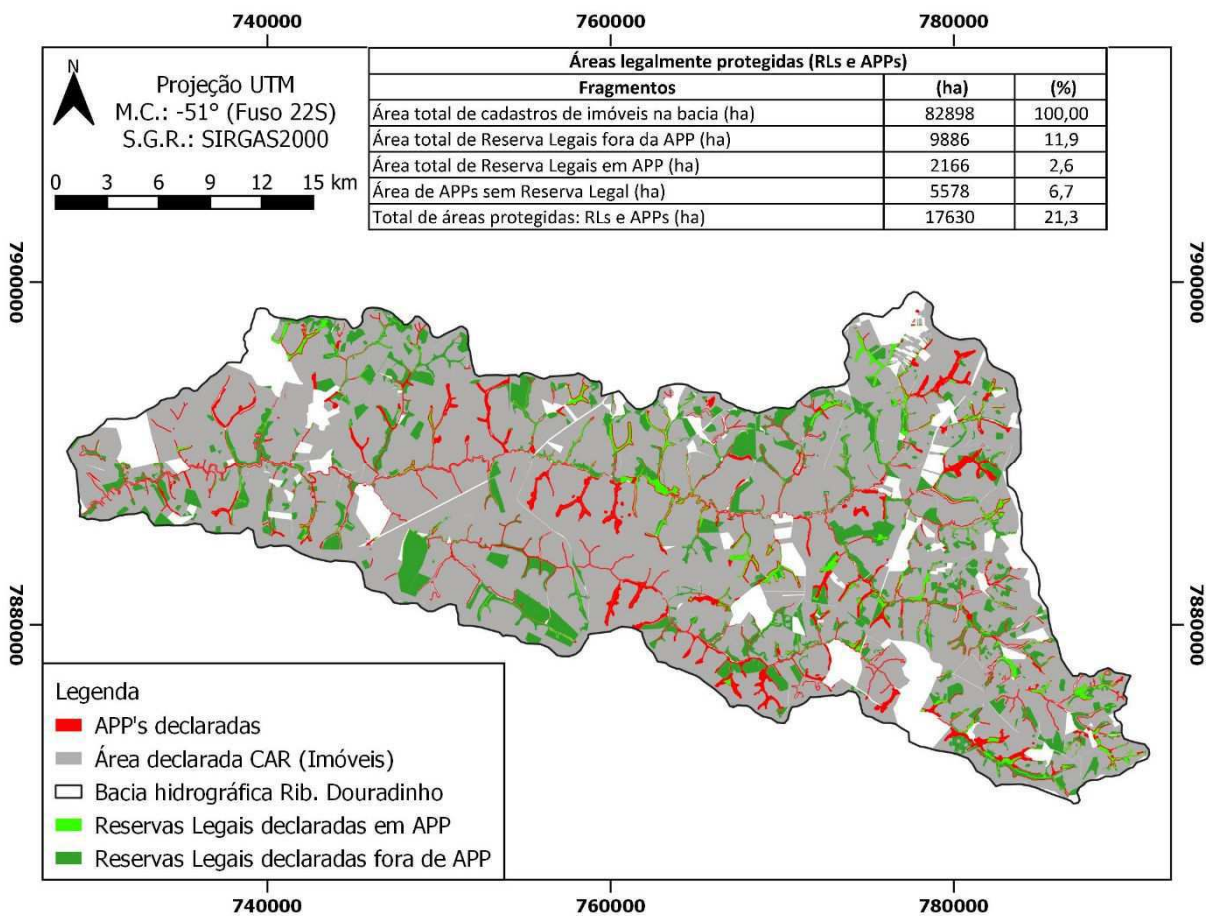


Fonte: Elaboração do autor.

Se forem consideradas verdadeiras as informações constantes no CAR, 21,7% da área total declarada é formada por vegetação nativa, sendo que os FVNs declarados fora das áreas de RL compõem o percentual de 9,7% – estes últimos são formados por APPs legalmente protegidas ou por remanescentes de vegetação que, a princípio, estão sujeitos a conversões do uso do solo. Nesse sentido, analisar somente as áreas nativas declaradas no CAR, sem levar em conta as RLs e APPs, não pressupõe a permanência integral delas, pois a exploração econômica por meio de atividades agrossilvipastoris tende, a longo prazo, a utilizar todas as áreas potenciais disponíveis, restando apenas as áreas legalmente protegidas.

Mensurou-se também a representatividade das RLs e APPs sobre a bacia, de modo a quantificar a proporção dessas áreas em relação à área de estudo. A Figura 23 representa a distribuição das áreas legalmente protegidas em APPs e RLs, com discriminação de RLs cadastradas em APP, RLs cadastradas fora da APP e APPs cadastradas sem RL.

Figura 23 – Mapa das áreas legalmente protegidas na bacia (RLs e APPs declaradas)



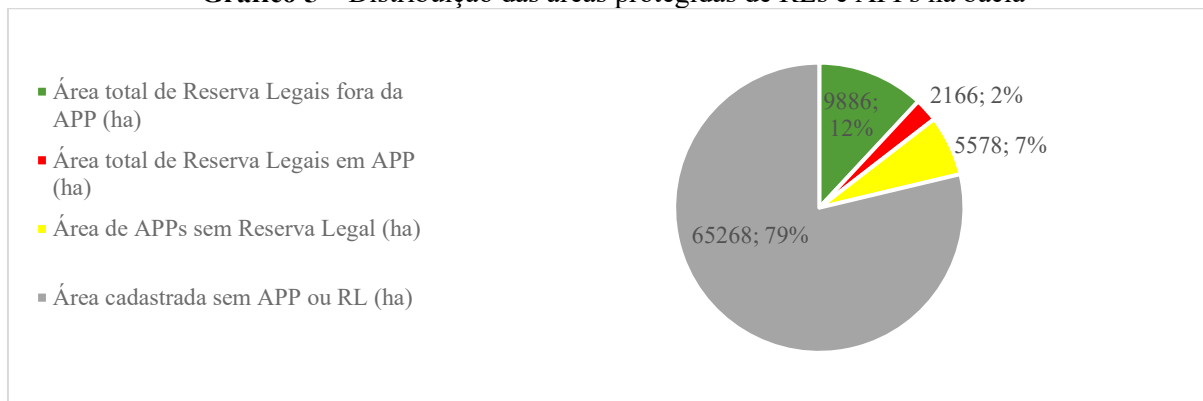
Fonte: Elaboração do autor.

A bacia possui 21,3% de área composta por RLs e APPs – nesse valor, não houve diferenciação em estarem atualmente compostas por vegetação nativa ou não. Contudo, por se

tratar de áreas protegidas pelo CFB (BRASIL, 2012b), há potencialmente uma expectativa de que elas sejam recuperadas no futuro e que a bacia apresente, de fato, esse percentual composto por vegetação nativa.

O Gráfico 5 mostra a distribuição percentual das áreas legalmente protegidas, limitadas às RLs e APPs, com discriminação entre RLs computadas dentro e fora das APPs, e APPs declaradas sem RL. Destaca-se que 18% do total das RLs declaradas foram computadas nas APPs, o que representa uma área de 2.166 hectares. Isso implica que 28% das APPs declaradas, que por natureza jurídica já são enquadradas como áreas protegidas de caráter obrigatório, também cumprem a finalidade de RL.

Gráfico 5 – Distribuição das áreas protegidas de RLs e APPs na bacia



Fonte: Elaboração do autor.

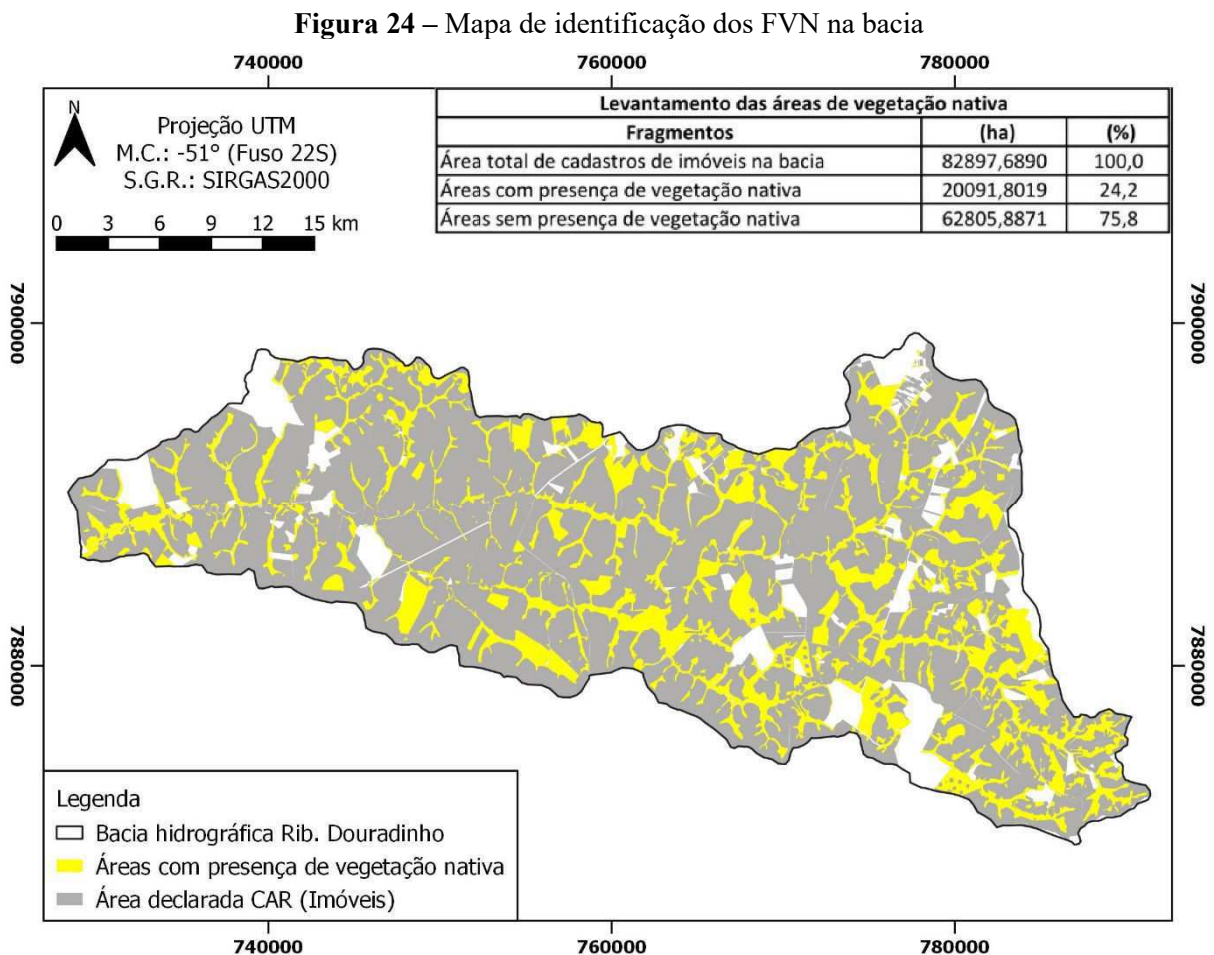
Apesar de as RLs e APPs apresentarem importâncias ambientais comuns, como a manutenção da biodiversidade, algumas funções específicas da RL deixam de existir quando ela é alocada na APP. A principal delas seria o aumento dos espaços entre FVNs e APPs, o que prejudicaria a conexão entre eles por comprometer sua funcionalidade como trampolins ecológicos para a fauna e a flora. Esse percentual demonstra também que áreas de vegetação nativa foram convertidas em usos alternativos do solo acima do máximo permitido pelo CFB (BRASIL, 2012b).

O cômputo das APPs nas RLs só é permitido em áreas cuja vegetação esteja preservada ou em avançado estágio de regeneração. Como no CAR não há essa verificação no momento do cadastro do imóvel, podem ocorrer alocações em desacordo com a legislação. Por conseguinte, é preciso verificar a veracidade dos dados cadastrados em relação à existência real de vegetação nativa nas delimitações definidas como tal, de modo a identificar possíveis transgressões ao CFB (BRASIL, 2012b).

4.2 VERIFICAÇÃO DA VERACIDADE DOS DADOS DO CAR

Foram analisados os dados referentes à ocorrência de vegetação nativa na bacia e no interior das RLs, em comparação ao levantamento dos FVNs realizados por fotointerpretação sobre as imagens orbitais do satélite CBERS4, em ambiente SIG.

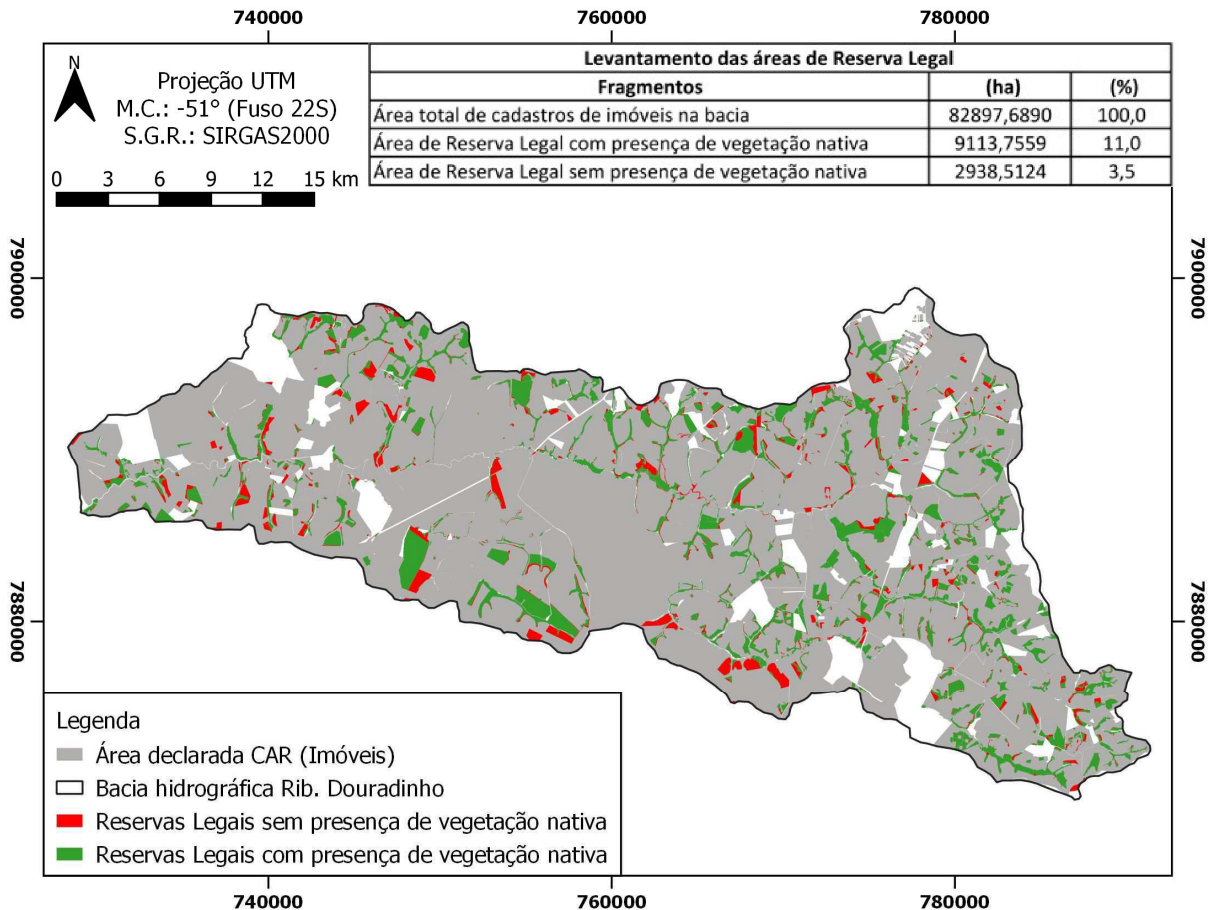
A Figura 24 compreende o levantamento dos FVNs, cujos resultados apresentaram valores positivos em relação aos dados declarados no CAR. Diagnosticou-se que 24,2% da área cadastrada se encontra coberta por vegetação nativa, o que diverge em 2.073 hectares dos valores obtidos pelos dados cadastrados, com 21,7%. Agrava-se essa diferença o fato de haver 9.851 hectares de área cadastrada sem informações sobre a cobertura do solo.



A partir das delimitações das RLs declaradas, confeccionou-se um mapa diagnóstico (Figura 25) para verificar a ocorrência real de vegetação nativa e mensurar a existência fática da RL enquanto FVN na bacia. No levantamento, 2.938 hectares dentro dos limites das RLs foram identificados sem a ocorrência de vegetação nativa, o que representa 24% da área total

de RLs cadastradas. Esse valor diverge dos dados declarados do CAR, com 881 hectares de RLs em área consolidada (sem vegetação nativa). Em relação às RLs localizadas em vegetação nativa, mensurou-se o valor real de 9.114 hectares, em contraposição aos 9.940 hectares declarados no CAR, mas são somados, aos dados declarados de RL, 1.230 hectares de áreas sem informação de cobertura do solo.

Figura 25 – Mapa diagnóstico das áreas de RL

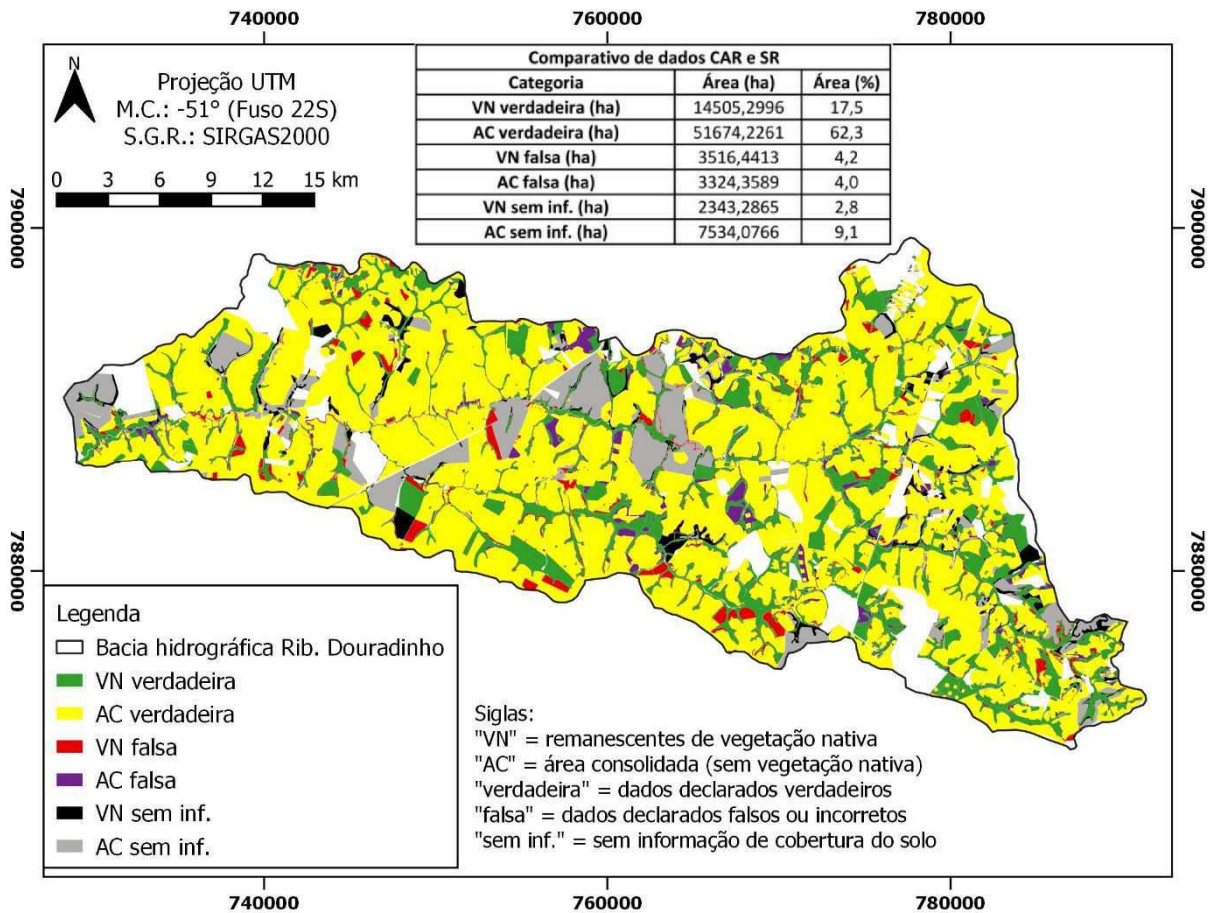


Fonte: Elaboração do autor.

O entrecruzamento dos dados do CAR com aqueles obtidos do levantamento por SR, referentes aos FVNs e às RLs, resultou na confecção de dois mapas que sintetizaram, em parte, a veracidade das informações declaradas nos cadastros. Foram sobrepostos os polígonos cadastrados de “remanescente de vegetação nativa” e “área consolidada” sobre os que foram levantados de “áreas com presença de vegetação nativa” e “áreas com presença de vegetação nativa”. Os polígonos cadastrados no SICAR, na categoria “área de pouso”, não foram considerados na sobreposição porque representam 0,001% da área total cadastrada.

A Figura 26 representa a espacialização dos resultados comparativos entre as áreas declaradas e outras identificadas como vegetação nativa, área consolidada e áreas sem informação de cobertura do solo.

Figura 26 – Mapa diagnóstico das áreas de vegetação nativa cadastradas

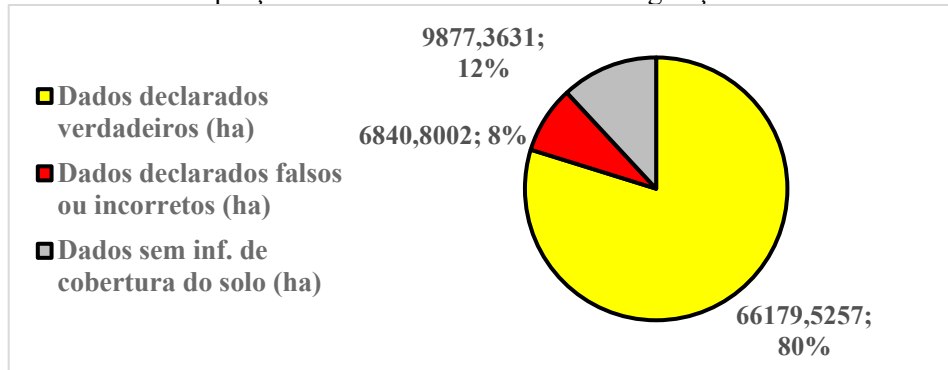


Fonte: Elaboração do autor.

Constatou-se que 14.505 hectares, equivalentes a 71,2% da área total cadastrada como remanescente de vegetação nativa, foram enquadrados em conformidade com os levantamentos realizados por SR, ou seja, se classificam como dados declarados verdadeiros. Cerca de 5.860 hectares (28,8%) restantes da área total cadastrada como vegetação nativa se mostraram falsos, incorretos ou não apresentaram informação de cobertura do solo. Em relação à área consolidada, 82,6% (51.674 ha) da área total cadastrada compuseram os dados verdadeiros e 17,4% (10.858 ha), os falsos, incorretos ou sem informação de cobertura do solo. Os levantamentos realizados sobre as áreas sem informação de cobertura do solo, que impediram a classificação como verdadeiros ou falsos, representaram 11,7% da área total cadastrada.

A proporção de área de cobertura do solo categorizada como verdadeira se refere a 80% da área total cadastrada na bacia, ou 66.179 hectares (Gráfico 6), cuja proporção representa um valor mensurável a respeito da veracidade das informações declaradas nessa categoria.

Gráfico 6 – Proporção da veracidade das áreas de vegetação nativa declaradas

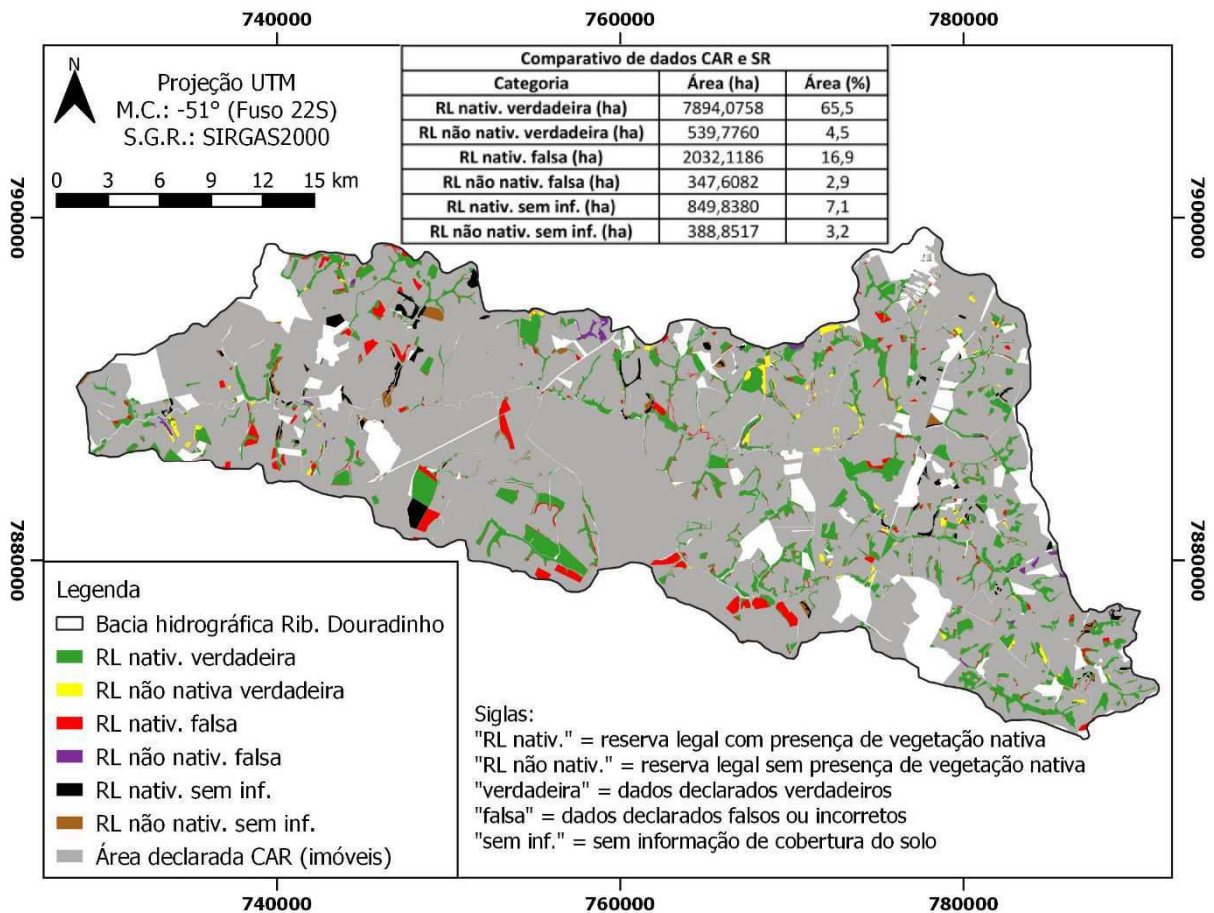


Fonte: Elaboração do autor.

No que tange às RLs, 7.894 hectares (73,3% da área total cadastrada como RL) foram classificados como dados verdadeiros. A área total cadastrada como RL e classificada como falsa, incorreta ou sem informação de cobertura do solo representou de 2.882 hectares (26,7%). Em relação às RLs cadastradas sobre as áreas consolidadas, que configuram aquelas sem vegetação nativa, 42% (540 ha) da área total cadastrada compuseram os dados verdadeiros e 58% (736 ha), os falsos, incorretos ou sem informação de cobertura do solo. Levantamentos realizados sobre as áreas de RL sem informação de cobertura do solo, que impediram a classificação como verdadeiros ou falsos, representaram 10,3% da área total cadastrada.

A espacialização dos resultados comparativos entre as áreas de RL declaradas sobre as que são consolidadas e as áreas de RL identificadas como vegetação nativa, área consolidada e áreas sem informação de cobertura do solo consta na Figura 27:

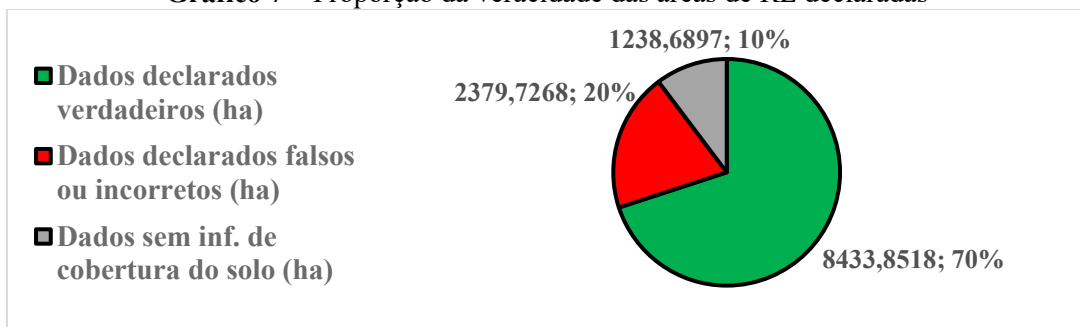
Figura 27 – Mapa diagnóstico das áreas de RL cadastradas



Fonte: Elaboração do autor.

A proporção da área de RL categorizada como verdadeira representou 70% da área total de RLs cadastradas na bacia, equivalente a 8.434 hectares (Gráfico 7). Diante disso, a identificação de áreas de RL sem presença de vegetação nativa, mas que foram declaradas no SICAR como áreas com esse tipo de vegetação, configura uma transgressão ao CFB (BRASIL, 2012b), por se tratar de áreas protegidas. A proporção de 20% da área declarada de RL classificada como falsa ou incorreta representa um valor mensurável a respeito da veracidade das informações declaradas de RL.

Gráfico 7 – Proporção da veracidade das áreas de RL declaradas



Fonte: Elaboração do autor.

A ocorrência de informações inverídicas no SICAR, diagnosticadas por esta pesquisa, se deve a fatores diversos, mas todos eles estão vinculados à atuação do cadastrante no preenchimento das informações espaciais do imóvel. Reitera-se um fator citado anteriormente sobre o procedimento errôneo de não sobreposição das camadas de cobertura do solo às camadas de RL e APP, com a criação de espaços sem informação de cobertura do solo no imóvel. Como consequência, obtiveram-se as taxas referentes às áreas declaradas sem informação de 12% para os FVNs e de 10% para as RLs.

Outro fator se deve à imperícia ou incapacidade, também por parte do cadastrante, de identificar e/ou delimitar corretamente os FVNs, seja em campo, por SR utilizando algum programa de SIG ou pelo próprio módulo de cadastro do CAR. A delimitação incorreta das áreas remanescentes de vegetação nativa repercute diretamente na capacidade do imóvel em deter áreas passíveis de receber alocações de RL do próprio imóvel ou de outros. Isso também reflete na ocorrência de passivos ambientais sobre APPs e RLs, em caso de déficit de vegetação nativa sobre elas.

Considera-se, inclusive, a situação de má-fé por parte do cadastrante, pois a indicação voluntária de passivos ambientais no imóvel sem verificações do sistema até o momento pode ser um motivo para a ocultação ou manipulação de dados comprometedores nos cadastros. Porém, a determinação de um fator exclusivo ou predominante para dados inverídicos no sistema se mostra impossibilitada nesta pesquisa, ao se limitar a mensurar o quantitativo das ocorrências em valores de área ocupada, independentemente do fator causador do erro.

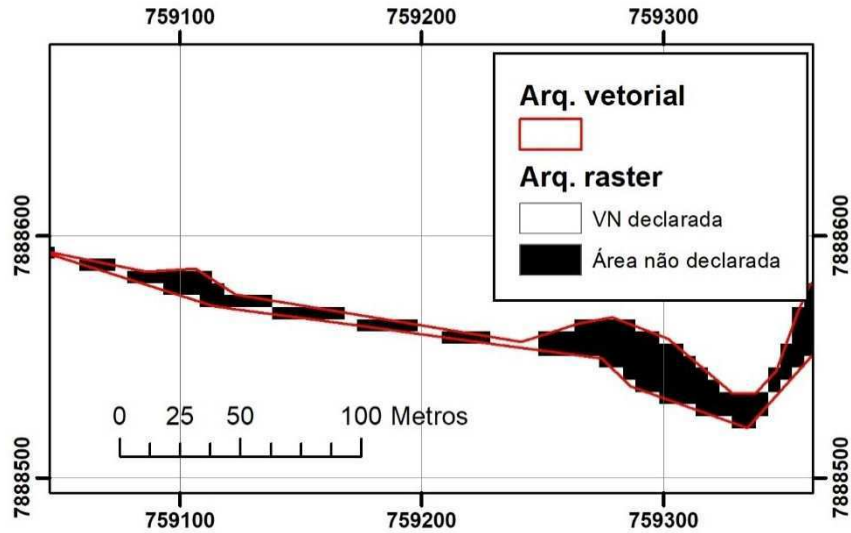
4.3 APLICAÇÃO DAS MÉTRICAS DA PAISAGEM SOBRE OS RESULTADOS

Ressalta-se que os resultados obtidos com a aplicação das Métricas da Paisagem foram gerados em dois programas distintos: o complemento Patch Analyst, do ArcGIS, que calculou um mosaico de vetores na feição polígono; e o Fragstats, cujos cálculos foram feitos somente sobre arquivos de formato *raster*, convertidos a partir dos vetores originais utilizados no Patch Analyst. A diferença de formato de dados (vetor e *raster*) entre os programas resultou em discrepâncias nos resultados atinentes à aplicação de métricas comuns.

Isso ocorre porque os arquivos no formato *raster* são constituídos por uma malha regular de células (pixels) que não acompanha fielmente os limites bem definidos do arquivo vetorial, o que leva a diferenças na área e no contorno dos fragmentos. A Figura 28 ilustra essa situação a partir de uma amostra real dos dados gerados nesta pesquisa, com discrepâncias significativas

nos resultados das métricas comuns – “número de fragmentos (NP)”, “área total (AC)” e “tamanho médio (MPS)”.

Figura 28 – Comparação dos limites de fragmentos obtidos por arquivos vetoriais e *raster*



Fonte: Elaboração do autor.

Nesse contexto, foi necessário restringir o uso dos resultados das métricas comuns a apenas um dos programas. A nível de análise e interpretação dos dados, consideraram-se os resultados obtidos pelo Patch Analyst mais próximos dos valores reais, pois as métricas foram calculadas sobre os arquivos vetoriais, formato original dos dados do CAR. As métricas calculadas exclusivamente pelo Fragstats foram o “índice de maior fragmento (LPI)” e a “distância do vizinho mais próximo (MNN)”, em que se optou por demonstrar nas tabelas a seguir somente os resultados das métricas utilizadas nas interpretações dos dados.

A Tabela 4 sintetiza os resultados do Comparativo n. 1, que representa a contraposição das métricas sobre os polígonos de FVNs levantados na bacia e sobre os polígonos de FVNs levantados, somados às RLs e APPs declaradas, sendo:

- Cenário 1: polígonos de vegetação nativa real na área declarada, incluindo os FVNs presentes nas RLs e APPs.
- Cenário 2: Polígonos de vegetação nativa real na área declarada, somando também as áreas protegidas (RLs e APPs declaradas) localizadas em áreas com e sem vegetação nativa.

Tabela 4 – Resultado do comparativo n. 1

COMPARATIVO 1						
Programa	Nome	Código	Unidade	Cenário 01	Cenário 02	Dif.
Patch analyst	Número de fragmentos	NUMP	adimensional	384,0	267,0	-117,0
	Área total da classe	CA	ha	20078,3	24744,4	4666,0
	Tamanho médio do fragmentos	MPS	ha	52,3	92,7	40,4
-	Porcentagem da classe na paisagem*	PLAND	%	21,8	26,9	5,1
Fragstats	Índice de maior fragmento	LPI	adimensional	2,3	7,1	4,8
	Distância média do vizinho mais próximo	MNN	m	71,5	59,6	-11,9
	Índice de proximidade média	MPI	adimensional	15724,2	67679,4	51955,2

*Calculado manualmente.

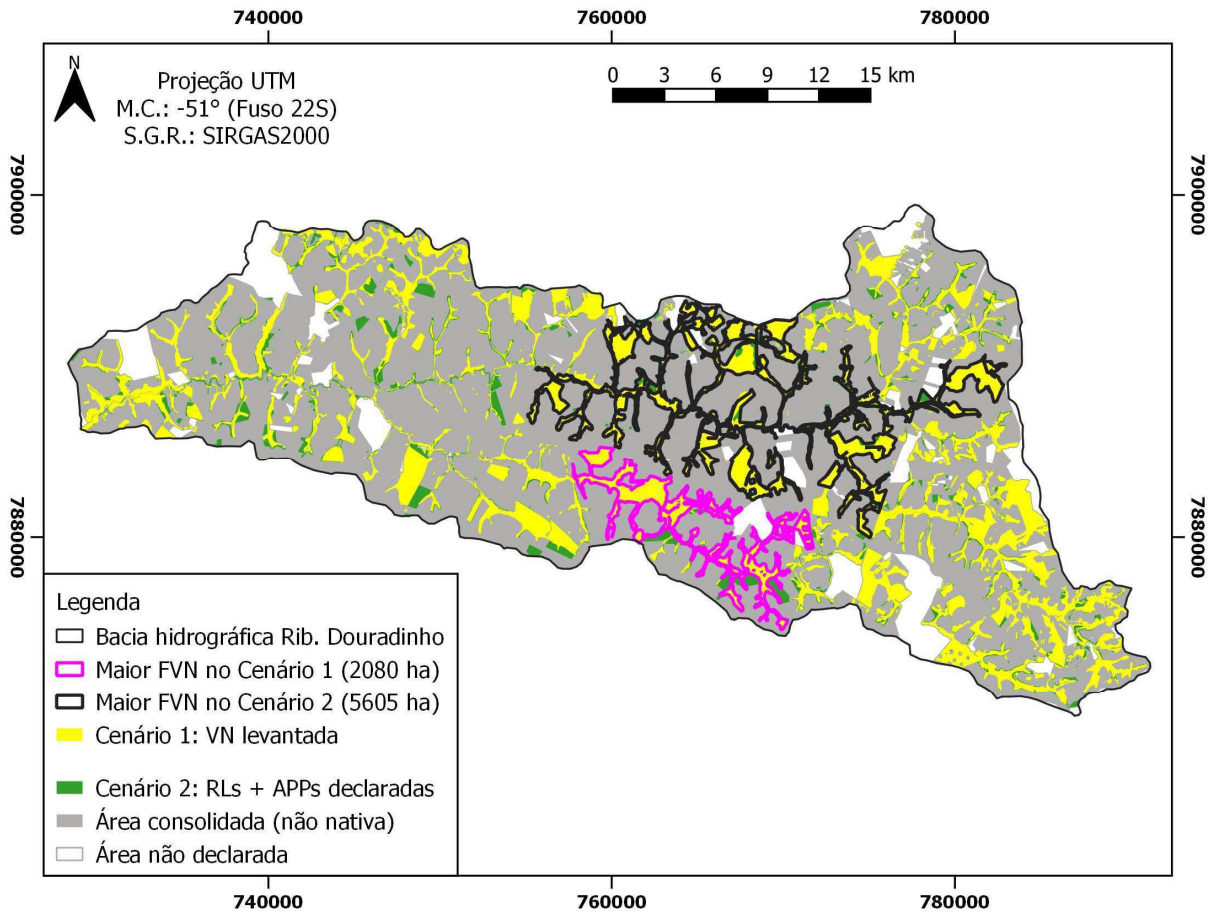
Fonte: Elaboração do autor.

Resultados obtidos a partir dessa comparação evidenciaram, de forma geral, que o incremento das áreas protegidas passíveis de recuperação aos FVNs existentes, considerando a efetiva aplicação da legislação ambiental, proporcionaria mudanças positivas na abrangência espacial e conectividade entre os FVNs. Haveria um aumento de 4.666 hectares em áreas destinadas à cobertura vegetal nativa, o que representa um acréscimo de área de 23% sobre o quadro atual na bacia, enquanto a porcentagem dessas áreas na paisagem (PLAND), considerando as áreas não declaradas, passaria de 21,8% para 26,9%. Além do acréscimo no percentual de área ocupada, constatou-se melhoria na conectividade entre os fragmentos por meio dos indicadores NUMP e MPS. O número de fragmentos reduziria de 384 para 267 unidades, o que, pela ampliação de área total, resultaria na elevação do tamanho médio dos fragmentos, de 52,3 hectares para 92,7 hectares.

Tendo como resultados concomitantes o aumento da extensão espacial das áreas destinadas à cobertura vegetal nativa, a diminuição no número de fragmentos e o acréscimo no tamanho médio deles, demonstrou-se uma tendência de formação de corredores de vegetação ou de redução da extensão dos “espaços não nativos” entre os FVNs já existentes.

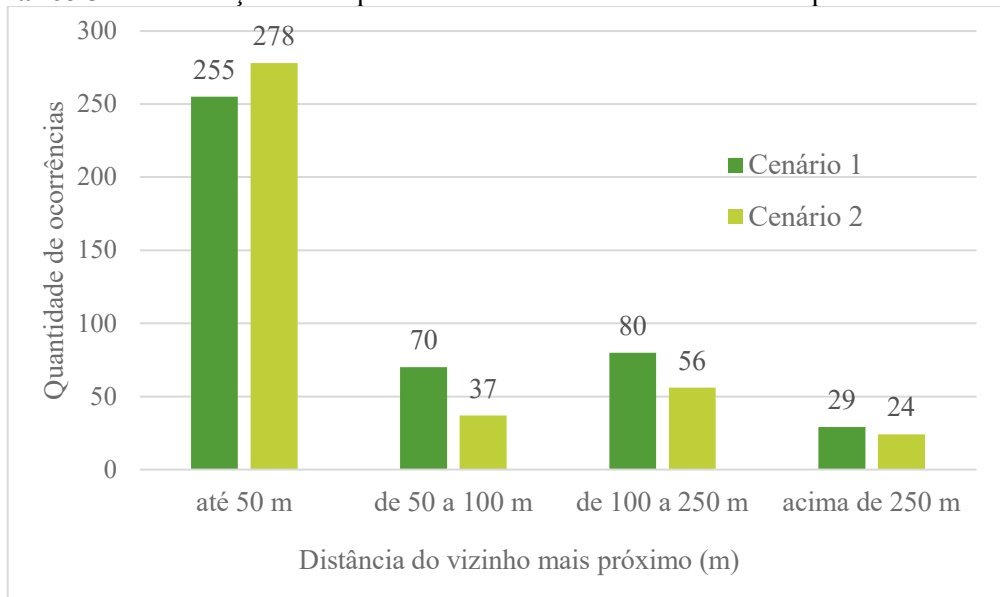
O “índice de maior fragmento (LPI)” representa a proporção ocupada pelo maior fragmento em relação à área total da bacia. A mudança do índice de 2,3 no Cenário 1 para 7,1 no Cenário 2 comprovou que houve expressivo acréscimo de área nos maiores FVNs da bacia. O maior fragmento identificado no Cenário 1, com área de 2.080 hectares, aumentaria para 3.120 hectares no Cenário 2, resultante da unificação com outros FVNs menores. O maior fragmento da bacia, nesse último cenário, passaria a ter uma área de 5.605 hectares, conforme ilustrado na Figura 29, que apresenta um comparativo dos maiores FVNs formados entre os Cenários 1 e 2:

Figura 29 – Mapa comparativo dos maiores FVN nos Cenários 1 e 2



Fonte: Elaboração do autor.

Outro indicador também relevante na melhoria da conectividade dos FVNs consiste na “distância média do vizinho mais próximo (MNN)”, cujo valor reduziria de 71,5 metros para 59,6 metros. Também foram analisados os resultados em intervalos definidos (classes), em que o Gráfico 8 mostra um comparativo da distribuição de frequência das distâncias do vizinho mais próximo entre os FVNs dos Cenários 1 e 2. Percebeu-se que haveria uma diminuição de 35% na ocorrência de distâncias acima de 50 metros entre FVNs; consequentemente, elevaria em 9% as ocorrências abaixo de 10 metros. Isso demonstra, em dados quantitativos, uma tendência de redução dos afastamentos entre os FVNs, atribuída ao aumento da extensão espacial deles pelo incremento das áreas protegidas passíveis de recuperação.

Gráfico 8 – Distribuição de frequência das distâncias do vizinho mais próximo entre FVNs

Fonte: Elaboração do autor.

Contudo, a métrica MNN não considera a dimensão dos fragmentos, mas somente a média da distância mínima borda a borda entre eles. O “índice de proximidade média (MPI)” é uma métrica adimensional cujo resultado absoluto tem pouco valor interpretativo, mas com grande utilidade quando utilizado como um índice comparativo (MCGARIGAL; MARKS, 1995). O MPI leva em conta não apenas a distância mínima borda a borda entre os fragmentos, como também o tamanho deles, cujo valor do índice se eleva à medida que se reduzem as distâncias ou se aumenta o tamanho dos fragmentos. Na comparação de cenários, haveria acréscimo significativo nos valores adimensionais do MPI, de 15.724 no Cenário 1 para 67.679 no Cenário 2. Tal diferença indica que os fragmentos se tornariam mais próximos e mais contíguos.

Diante dos resultados obtidos nas métricas espaciais, concluiu-se que a reocupação da vegetação nativa nas áreas protegidas passíveis de recuperação teria, como consequências (se ocorresse), o aumento da extensão espacial e a melhoria das condições de interconexão entre FVNs.

A Tabela 5 sintetiza os resultados do Comparativo n. 2, que representa a contraposição das métricas sobre os polígonos de RL com presença de vegetação nativa, justapostos aos polígonos de APP declarados, e sobre os todos os polígonos de RL também justapostos aos polígonos de APP declarados:

- Cenário 1: áreas de RL com presença de vegetação nativa e APPs.
- Cenário 2: áreas de RL com e sem presença de vegetação nativa, e APPs.

Tabela 5 – Resultado do comparativo n. 2

COMPARATIVO 2						
Programa	Nome	Código	Unidade	Cenário 01	Cenário 02	Dif.
Patch analyst	Número de fragmentos	NUMP	adimensional	526,0	542,0	16,0
	Área total da classe	CA	ha	14926,6	17607,8	2681,2
	Tamanho médio do fragmentos	MPS	ha	28,4	32,5	4,1
-	Porcentagem da classe na paisagem*	PLAND	%	16,2	19,1	2,9
Fragstats	Índice de maior fragmento	LPI	adimensional	1,7	2,2	0,5
	Distância média do vizinho mais próximo	MNN	m	50,8	54,6	3,8
	Índice de proximidade média	MPI	adimensional	18305,1	21729,0	3423,9

*Calculado manualmente.

Fonte: Elaboração do autor.

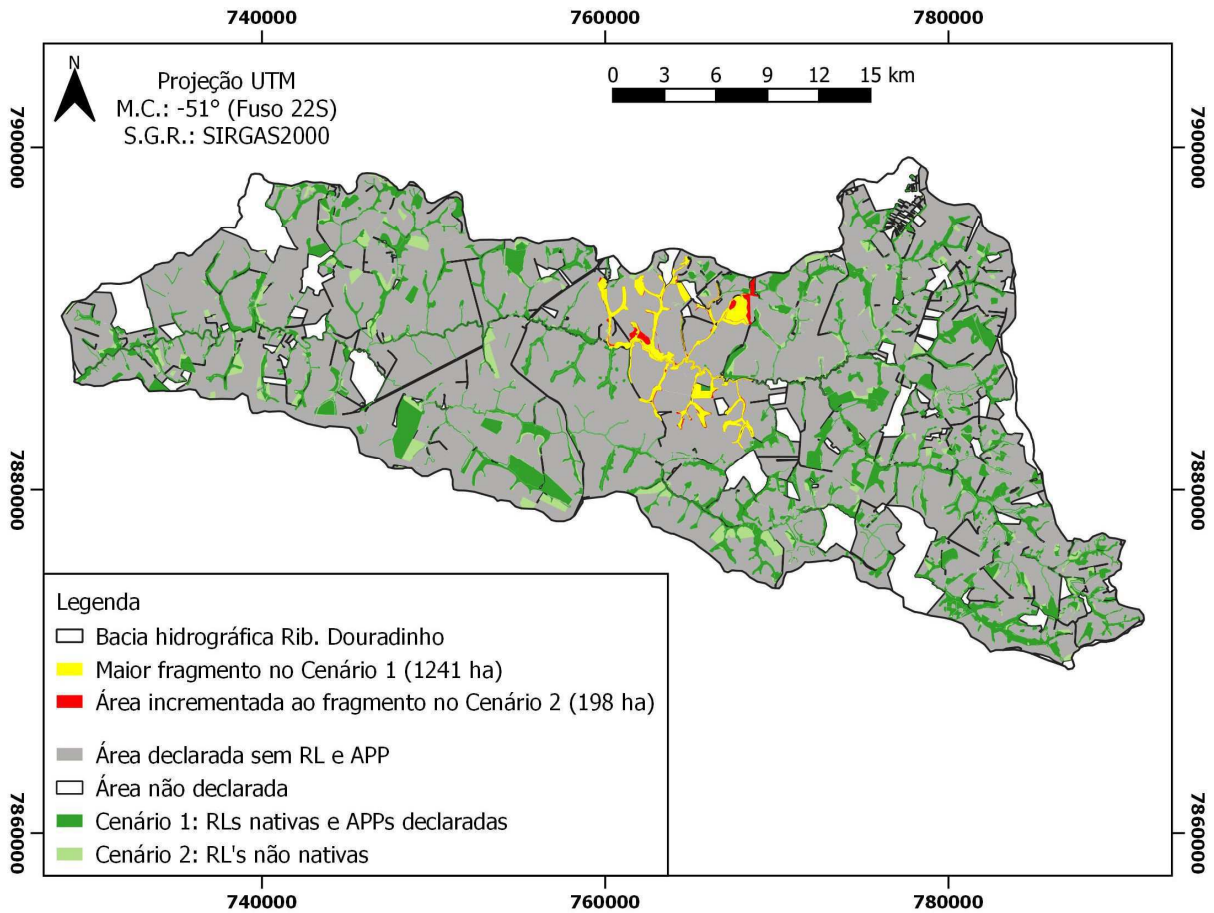
Foi constatado que um cenário futuro de plena recuperação dos fragmentos de RL, somado às APPs que também estariam plenamente cobertas com vegetação nativa, levaria ao aumento no tamanho médio do fragmento e no número de fragmentos das áreas protegidas (RLs e APPs) enquanto FVNs da paisagem. São consequências lógicas dos processos de recuperação da vegetação nas RLs e APPs, motivadas pelas obrigações legais previstas no CFB (BRASIL, 2012b).

Ao considerar a junção das RLs com as APPs na formação de FVNs, a área de cobertura (CA) aumentaria do Cenário 1 para o Cenário 2 em 18%, ou seja, haveria um incremento de 2,681 hectares de FVNs em áreas protegidas. Portanto, a proporção das áreas protegidas nativas na paisagem (PLAND), conforme as áreas não declaradas, elevaria de 16,2% para 19,1%.

O acréscimo no tamanho médio dos fragmentos (MPS) mudaria de 28,4 hectares para 32,5 hectares, e o índice de maior fragmento (LPI) elevaria de 1,7 para 2,2, resultante do incremento de área pela recomposição da vegetação nos fragmentos ou pela formação de novas conexões com outros fragmentos decorrentes desse processo. O maior fragmento contínuo de áreas protegidas no Cenário 1, com área de 1.241 hectares, se manteve como o maior fragmento no Cenário 2, cuja área aumentaria para 1.430 hectares.

A Figura 30 ilustra o incremento das áreas não nativas nas RLs e APPs, de acordo com sua possível recuperação, com destaque ao maior fragmento contínuo dos Cenários 1 e 2.

Figura 30 – Mapa comparativo dos maiores fragmentos de áreas protegidas nos Cenários 1 e 2



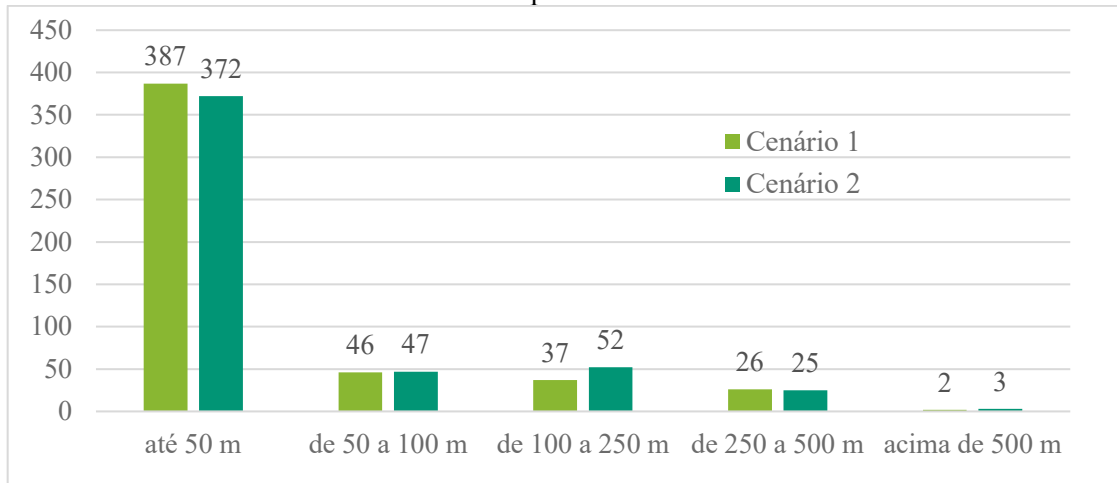
Fonte: Elaboração do autor.

O número de fragmentos (NUMP) também aumentaria de 526 para 542 unidades. Esse resultado se refere aos fragmentos isolados não nativos que passaram a ser contabilizados enquanto FVNs no Cenário 2.

Em relação à distância média do vizinho mais próximo (NMM) entre os fragmentos, não se constataram alterações significativas no contexto global. Ao analisar somente os fragmentos formados por áreas protegidas, sem considerar os demais FVNs da paisagem, a distância média aumentaria de 50,8 metros no Cenário 1 para 54,6 metros no Cenário 2; todavia, os resultados do NMM foram melhor verificados ao quantificá-los em intervalos definidos.

Assim, o Gráfico 9, que apresenta a distribuição de frequência das distâncias do vizinho mais próximo entre fragmentos formados por RLs e APPs, constata redução de 4% nas ocorrências de distâncias menores que 50 metros e aumento de 14% nas ocorrências das distâncias acima de 50 metros:

Gráfico 9 – Distribuição de frequência das distâncias do vizinho mais próximo entre fragmentos formados por RLs e APPs



Fonte: Elaboração do autor.

O índice de proximidade média (MPI) teria acréscimo menos expressivo, de 18.305 no Cenário 1 para 21.729 no Cenário 2. Isso confirma a tendência de aumento do MPS e melhoria da continuidade entre fragmentos, mas em contraposição à redução do MNN.

Diferenças dos resultados nas métricas entre os Comparativos 1 e 2, nas projeções do Cenário 2 de cada comparativo mostram a importância das áreas nativas que excedem a abrangência espacial das áreas protegidas. Os FVNs fora das áreas protegidas ocupam uma área de 7.136 hectares, cerca de 35% da cobertura total nativa sobre a área cadastrada. Tais remanescentes, a princípio, representam um excedente apto a receber novas alocações de RLs, condicionadas às possibilidades previstas no CFB (BRASIL, 2012b), mas também, concomitantemente, estão sujeitos a novas conversões do uso do solo.

Nesse sentido, uma projeção otimista de plena recuperação da vegetação nativa nas RLs e APPs representaria a ocupação de 21% da área total cadastrada. Ao incluir os FVNs fora das áreas protegidas, a proporção aumentaria para 24%. Portanto, as áreas protegidas, se recuperadas, constituiriam a maior fração da vegetação nativa disponível na área cadastrada da bacia. Sua contribuição ambiental, avaliada pela dimensão da cobertura de vegetação nativa e ao atrelar a ela todos os benefícios ambientais já elencados anteriormente, poderia ser otimizada pelo excedente nativo fora das áreas protegidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com a manutenção e o monitoramento dos remanescentes de vegetação nativa, com destaque ao domínio fitogeográfico do cerrado, que possui um grau avançado de ocupação e consolidação das atividades agrossilvipastoris, é bastante relevante no contexto atual. Estudos baseados nas condições ambientais de um determinado recorte espacial, com foco no levantamento dos FVNs remanescentes, são bastante difundidos e apresentam um vasto acervo. Ao mesmo tempo, pesquisas que abordam a legislação ambiental e sua repercussão direta ou indireta na ocupação do espaço se mostram não só importantes, mas também complementares às linhas de investigação que se limitam à problemática do diagnóstico ambiental. Desse modo, realizar uma abordagem que trata da atuação efetiva dos mecanismos legais do CFB (BRASIL, 2012b) e suas implicações sobre a manutenção dos FVNs abre campo para análises diversas.

De fato, a proporção de ocupação dos FVNs na paisagem já tem sua relevância consolidada pela ciência como um fator de qualidade ambiental, trazendo consigo todos os benefícios ambientais vinculados à sua existência. A legislação ambiental, por meio da instituição de áreas de proteção em caráter obrigatório, é necessária para manter uma porção mínima de FVN, assim como recuperar as áreas cuja vegetação foi suprimida irregularmente. Apesar das exceções previstas no CFB (BRASIL, 2012b) em relação à obrigatoriedade de recuperação de algumas dessas áreas, ainda existem grandes passivos que, em caso de efetivo rigor na aplicação da legislação, deverão ser reconstituídos no futuro.

Embora seja clara a importância das RLs no contexto da preservação dos FVNs, assim como nas normas legais que as regem, pouco se sabia da real representatividade da ocupação territorial dessas áreas até então. Diferentemente das APPs, que têm a delimitação vinculada a uma condição ambiental pré-determinada que não depende da existência do imóvel rural, as RLs, constituídas por uma delimitação espacial atrelada ao imóvel rural, nem sempre apresentam limites fisicamente materializados, podendo ser confundidas com um mero FVN ou estar suprimidas por conversões irregulares de cobertura do solo.

Informações acerca das delimitações das RLs e a respectiva disponibilização organizada desses dados, apesar de públicos, estavam registrados apenas nos arquivos de processos dos órgãos ambientais e/ou nas certidões imobiliárias dos imóveis rurais. A forma de obtenção desses dados inviabilizava, para estudos científicos, o agrupamento integrado das informações espaciais.

Com a implementação do CAR, consolidado como um sistema de abrangência nacional a partir do CFB (BRASIL, 2012b), tem sido possível obter livremente informações declaradas de cobertura do solo dos imóveis rurais nele cadastrados, de modo agrupado e integrado. A disponibilização dessas informações em arquivos vetoriais, no formato *shapefile*, tem levado a análises de grandes áreas ou regiões extensas, com o entrecruzamento de diversos dados de cobertura do solo e de áreas protegidas.

Nessas condições, o uso dos SIGs no gerenciamento e na manipulação dos dados disponibilizados pelo CAR se enquadrou como um recurso-chave. Isso se deve ao fato de o próprio sistema de cadastro (SICAR) possuir a estrutura de um SIG no módulo de cadastro do imóvel e no sistema de consulta pública de cadastros.

Ao considerar a ocorrência de dados errôneos, pois os dados disponibilizados são de caráter declaratório, os SIGs se mostram cada vez mais importantes para análise e verificação dos dados cadastrados. A utilização de imagens orbitais como um produto capaz de verificar a veracidade dos dados espaciais do CAR, vinculada à aplicação de técnicas de fotointerpretação, é a metodologia mais recomendada e viável para atender a tal finalidade.

Sob esse viés, as imagens do CBERS4, por serem classificadas como de média resolução espacial, com limitações na composição das bandas espectrais e por não apresentarem metadados, constituem produtos de qualidade inferior em relação aos de outros sensores também disponibilizados gratuitamente, como a série Sentinel ou o programa Google Earth. Porém, os produtos gerados a partir do CBERS4 permitiram um levantamento relativamente adequado, quando se trata de identificação de fragmentos florestais nativos do cerrado, ao considerar a adoção de escala apropriada e o processamento correto. Sua relevância nesta pesquisa se justificou por ser um produto sino-brasileiro, cuja disponibilização é gerida por entidade pública, assim como os dados do CAR.

Desse modo, promoveu-se uma análise detalhada dos FVNs e das RLs cadastradas no SICAR, tendo como espaço amostral a bacia do Ribeirão Douradinho. Por meio das ferramentas de SIG, foi possível quantificar as áreas de vegetação nativa e áreas protegidas declaradas, mensurar a qualidade dos dados por parâmetros de sobreposição entre polígonos e verificar a veracidade dos dados, ao contrapô-los às informações obtidas com as imagens CBERS4.

Com base nos dados adquiridos em julho de 2018, a bacia do Ribeirão Douradinho apresentou 90% de sua área preenchida por cadastrados de imóveis rurais, com uma taxa de sobreposição de 2,7% entre os respectivos cadastros. Já as RLs obtiveram um índice de sobreposição de 1,0%. Esses percentuais representaram parâmetros de qualidade dos dados, o

que permite atestar sua viabilidade para submetê-los às quantificações espaciais, sem incorrer em erros significativos. Em relação aos dados declarados de cobertura do solo, constatou-se omissão de informações em 11,9% da área total cadastrada, o que comprometeu a utilização dos dados nas análises espaciais e Métricas da Paisagem. Nesse sentido, a dimensão espacial das áreas sem informação de cobertura do solo indicou outro parâmetro de qualidade avaliado.

No que tange à veracidade das informações declaradas da cobertura de vegetação nativa, constatou-se que 8% da área total declarada era formada por dados não verdadeiros e 12%, por áreas sem informação. Nesse caso, a área total cadastrada apresentou uma proporção de 20% de dados impossibilitados de serem submetidos a análises espaciais. Já nas RLs, 20% da área declarada se mostraram como não verdadeira e 10% sem informação, o que representa 30% da área total declarada. Dessa forma, diagnosticou-se nos dados do CAR um elevado grau de incerteza nas informações declaradas, o que resulta em uma condição comprometedora que abre espaços para contestações em relação à eficiência do sistema.

Portanto, os dados do CAR, ao considerar o fato de se apresentarem parcialmente errôneos, devem ser utilizados com bastante cautela. Por consequência, a implementação de mecanismos de verificação desses dados se configura como uma ação indispensável para o efetivo funcionamento do sistema. Reconhece-se que o SICAR ainda tem muito a ser aprimorado enquanto um sistema de cadastro de informações ambientais de abrangência nacional, pois, até o momento, não há mecanismos de verificação da veracidade dos dados. Em contrapartida, os dados declarados do CAR, quando corretos, permitem uma análise integrada da cobertura do solo, de maneira bastante eficaz, na identificação dos passivos ambientais sobre as áreas protegidas, o que repercute diretamente na regularidade ambiental do imóvel rural.

A utilização adequada das informações disponibilizadas pelo SICAR abre campo para análises que excedem os limites do imóvel rural, ao se expandir para recortes espaciais maiores de abrangência local, regional e até inter-regional. Uma forma de exploração integrada desses dados consistiu nas Métricas da Paisagem sobre as informações de cobertura do solo e áreas protegidas. Foi possível obter parâmetros quantificáveis para comparar a situação atual dos FVNs e RLs a projeções de cenários futuros que estimaram os potenciais de recuperação dessas áreas.

Nesse entremeio, a bacia apresentou uma área de 12.052 hectares ocupada por RL, mas somente 9.114 hectares com presença de vegetação nativa. Já a área total cadastrada como APP somou 7.744 hectares, incluindo também as áreas de RL alocadas sobre elas. As áreas protegidas entre RLs e APPs totalizaram 17.630 hectares, o que representa 19% da área da bacia

e 21% da área total cadastrada. O número total de fragmentos unificados das áreas de RL e APP foi de 542 unidades, com tamanho médio de 32,5 hectares e distância média entre esses fragmentos de 54,6 metros.

A principal constatação obtida por meio dos resultados das métricas indica que a recuperação da vegetação sobre as RLs e APPs localizadas em áreas consolidadas implicaria no incremento de 4.666 hectares sobre os atuais remanescentes de vegetação nativa, ou seja, haveria um crescimento de 23% da área total dessa cobertura. O tamanho médio dos FVNs aumentaria em 77%, e a distância média dos fragmentos seria reduzida em 17%. Nesse sentido, a aplicação de Métricas da Paisagem se mostrou bastante efetiva na comparação de quadros atuais com cenários futuros ou também com parâmetros obtidos de outros recortes espaciais.

É notório que a bacia do Ribeirão Douradinho configurou uma amostra da condição regional dos FVNs. Logicamente, pressupõe-se a existência de variações nas comparações com as bacias adjacentes ou com aquelas localizadas no mesmo contexto regional. Contudo, o cenário atual de disponibilidade de vegetação nativa e os quantitativos de áreas protegidas tendem a estar próximos ao quadro regional, visto que a cobertura do solo e o respectivo uso pelas atividades agrossilvipastoris ocorrem de maneira relativamente homogênea onde se localiza a bacia.

De modo geral, concluiu-se nesta pesquisa que a atuação do CFB (BRASIL, 2012b) na manutenção dos remanescentes nativos é fundamental, pois a extensão das áreas protegidas sobre os FVNs representa sua maior proporção. Tal aparato legislativo também implementou o CAR, com grandes vantagens na disponibilidade dos dados de cobertura do solo dos imóveis rurais, de maneira organizada e integrada. Embora o SICAR ainda apresente incoerências nas informações, em função da etapa de desenvolvimento em que o sistema se encontra, há muitos benefícios atrelados a ele.

Destarte, devido à disponibilidade desses dados, a aplicação dos recursos de SIG com as imagens orbitais do CBERS4 proporcionou parâmetros de qualidade e veracidade das informações, o que permite avaliar a eficiência do sistema. O uso correto dos dados do CAR viabilizou a abertura de um campo de exploração vasto que, nesse caso, foi empregado para analisar a situação dos FVNs e das áreas protegidas, em que as Métricas da Paisagem se mostraram eficazes na comparação de cenários atuais e futuros.

REFERÊNCIAS

BATISTA, M. **Modelação geográfica em processos de caracterização e avaliação da paisagem numa perspectiva transfronteiriça**. 2014. Tese (Doutorado) – Universidade de Évora, Évora, 2014.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BOTEQUILHA LEITÃO, A.; MILLER, J.; AHERN, J.; MCGARIGAL, K. **Measuring landscapes: a planner's handbook**. Washington: Island Press, 2006.

BRASIL. Decreto n. 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 jul. 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. Decreto n. 7.029, de 10 de dezembro de 2009. Institui o Programa Federal de Apoio à Regularização Ambiental de Imóveis Rurais, denominado “Programa Mais Ambiente”, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 dez. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D7029.htm>. Acesso em: 8 set. 2019.

BRASIL. Decreto n. 7.830, de 17 de outubro de 2012. Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 out. 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Decreto/D7830.htm>. Acesso em: 9 nov. 2017.

BRASIL. Decreto n. 8.235, de 5 de maio de 2014. Estabelece normas gerais complementares aos Programas de Regularização Ambiental dos Estados e do Distrito Federal, de que trata o Decreto n. 7.830, de 17 de outubro de 2012, institui o Programa Mais Ambiente Brasil, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 maio 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8235.htm>. Acesso em: 9 nov. 2017.

BRASIL. Decreto n. 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Approva o código florestal que com este baixa. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, 9 fev. 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/D23793.htm>. Acesso em: 4 mar. 2020.

BRASIL. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm>. Acesso em: 20 maio 2019.

BRASIL. Lei n. 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis n. 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 20 jul. 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm>. Acesso em: 10 abr. 2019.

BRASIL. Lei n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 fev. 1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8629compilado.htm>. Acesso em: 12 nov. 2019.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 fev. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm>. Acesso em: 14 set. 2019.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 maio 2012b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 9 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de Cobertura vegetal do Bioma Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados; Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2006. 1 mapa, color., 118 cm x 84 cm. Escala 1:4.000.000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: MMA, 2015.

CAR. Cadastro Ambiental Rural. **Sicar** – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. 2017. Disponível em <<http://www.car.gov.br/#>>. Acesso em: 9 nov. 2017.

CAR. Cadastro Ambiental Rural. **Sicar** – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. 2019. Disponível em <<http://www.car.gov.br/#>>. Acesso em: 31 mai. 2019.

DUARTE, L.; NEVES, N. **Modelação geográfica de métricas de paisagem**: efeito de escala e efeito de contexto. Coimbra: Impactum Coimbra University Press, 2018.

FARIAS, M. O.; CANDEIAS, A. L. B.; LIMA JÚNIOR, C. O. Análise das áreas cadastráveis na base do Sistema Nacional do Cadastro Ambiental Rural (SICAR). In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 10., 2018, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2018.

FLORENZANO, T. G. Interpretação de Imagens. In: DI MAIO, A. et al. **Sensoriamento Remoto**. Brasília: AEB Escola, 2008.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [s.l.], v. 1, n. 1, [n.p.], 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. 2007. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 26 ago. 2018.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS**. São José dos Campos, 2019. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br>>. Acesso em: 30 de julho de 2019.

MACHADO, F. **Novo Código Florestal Brasileiro**: guia para tomadores de decisão em cadeias produtivas e governo. Brasília: WWF Brasil, 2016.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

MENESES, R. P.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens e sensoriamento remoto**. Brasília: UnB; CNPq, 2012.

MINAS GERAIS. Lei n. 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. **Diário Oficial de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 17 out. 2013. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. Acesso em: 10 out. 2019.

MIRANDA, I. J. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: EMBRAPA, 2005.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa n. 2, de 5 de maio de 2014. Dispõe sobre os procedimentos para a interação, execução e compatibilização do Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR e define os procedimentos gerais do Cadastro Ambiental Rural – CAR. **Diário Oficial da União**, Brasília, 6 maio 2014. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=59&data=06/05/2014>>. Acesso em: 9 nov. 2017.

OLIVEIRA, S. J. de M.; BACHA, C. J. C. **Avaliação do cumprimento da reserva legal no Brasil**. Revista de economia e agronegócio, v. 1, n. 2, p.177-204, 2003.

PAPP, L. A revisão do Código Florestal brasileiro (Lei Federal n. 12.651/12): reflexões iniciais acerca das APPs nas margens de cursos d'água naturais em áreas rurais consolidadas. **Interesse Público**, São Paulo, v. 14, n. 73, maio/jun. 2012. Disponível em: <<http://dspace/xmlui/bitstream/item/3237/0000010E.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 27 set. 2012.

PARDINI, R.; BUENO, A. A.; GARDNER, T. A.; PRADO, P. I.; METZGER, J. P. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. **PLoS ONE**, v. 5, n. 10, p. e13666, 2010.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5. ed. Uberlândia: EDUFU, 2003.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

REMPEL, R. S.; KAUKINEN, D.; CARR, A. P. **Patch analyst and patch grid**. Ontario: Ministry of Natural Resources; Centre for Northern Forest Ecosystem Research, 2012.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998, p. 89-149.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SBPC; ABC. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência; Academia Brasileira de Ciências. **O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo**. 2. ed. São Paulo: SBPC; ABC, 2012.

SICAR. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. **Relatórios**. 2019. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/modulo-de-relatorios>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

SILVA, A. P. M. D. O.; MARQUES, H. R. O.; SAMBUICHI, R. H. R. O. **Mudanças no Código Florestal brasileiro: desafios para a implementação da nova lei**. IPEA, Rio de Janeiro, 2016.

SOUZA, J. R.; REIS, L. N. G.; PEDROSA, A. S. Caracterização e susceptibilidade ecológica dos fragmentos florestais nas bacias do Ribeirão Douradinho e Ribeirão Estiva – Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 51, [n.p.], set. 2014.

SPAROVEK, G.; KLUGG, I.; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do Código Florestal Brasileiro. **Novos Estudos Cebrap**, São Paulo, n. 89, p. 111-135, mar. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002011000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 2 maio 2016.

TERRACLASS. **Projeto TerraClass Cerrado: mapeamento do uso e cobertura vegetal do cerrado**. Brasília: INPE, 2019. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/index.php?mais=1>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de análise espacial – métricas do Fragstats**. 1998. 45 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.